



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV INFORMATIKY

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT  
INSTITUTE OF INFORMATICS

# TECHNICKÁ ANALÝZA

TECHNICAL ANALYSIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PŘEMYSL SPÁČIL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Mgr. VERONIKA NOVOTNÁ, Ph.D.

BRNO 2015

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Spáčil Přemysl, Bc.**

---

Informační management (6209T015)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

**Technická analýza**

v anglickém jazyce:

**Technical Analysis**

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Cíle práce, metody a postupy zpracování

Teoretická východiska práce

Analýza současného stavu

Vlastní návrhy řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

REJNUŠ, O. Finanční trhy. 3. rozš. vyd. Brno: Key Publishing, 2011. ISBN 978-80-7418-128-3.

PARDO, R. The evaluation and optimization of trading strategies. 2nd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2008. ISBN 04-701-2801-1.

SEKERKA, B. Cenné papíry a kapitálový trh. 1.vyd. Praha: Profess, 1996. ISBN 80-85235-41-2.

SOJKA, Z. a P. DOSTÁL. Elliottovy vlny. V Tribunu EU vyd. 1. Brno: Tribun EU, 2008. ISBN 978-80-7399-630-7.

FANTA, J. Psychologie, algoritmy a umělá inteligence na kapitálových trzích. 1. vyd. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-247-0024-7.

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Veronika Novotná, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

L.S.

---

doc. RNDr. Bedřich Půža, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.  
Děkan fakulty

V Brně, dne 1.12.2014

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na vývoj, optimalizaci a testování automatických obchodních systémů (AOS) s využitím technické analýzy. První část popisuje především teoretická východiska a poté následuje praktická část práce, která se zabývá návrhem workflow pro vývoj AOS. Výstupem práce je portfolio strategií, které lze obchodovat na e-mini trzích. Některé systémy byly vytvořeny v programu Adaptrade Builder s využitím genetických algoritmů, zatímco veškeré testování proběhlo v platformě TradeStation.

## **Abstract**

This master's thesis is focused on the development, optimization and testing automated trading systems (ATS) using technical analysis. The first part, which describes mainly theoretical background, is followed by the practical part. This section deals with designing workflow for the development of ATS. Outcome of this thesis is portfolio of strategies that can be traded on e-mini markets. Some systems have been designed in Adaptrade Builder using genetic algorithms, while all testing was performed in TradeStation platform.

## **Klíčová slova**

AOS, e-mini trhy, trading strategie, technické indikátory, optimalizace, testování, genetické algoritmy, finanční trhy, TradeStation, Adaptrade Builder

## **Keywords**

ATS, e-mini markets, trading strategy, technical indicators, optimization, testing, genetic algorithms, financial markets, TradeStation, Adaptrade Builder

## **Bibliografická citace**

SPÁČIL, P. *Technická analýza*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2015. 85 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Veronika Novotná, Ph.D..

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Dále prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským, ve znění pozdějších předpisů).

V Brně dne 7. ledna 2015

.....

Přemysl Spáčil

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mne podporovali při vypracovávání mé diplomové práce. V první řadě vděčím paní Mgr. Veronice Novotné, Ph.D. za vedení této diplomové práce a za velmi přínosné rady. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům, kteří mne podporovali především psychicky a dodávali mi potřebnou motivaci pro dokončení práce.

Úvod.....	9
1 Cíle práce, metody a postupy zpracování.....	10
1.1 Globální cíl.....	10
1.2 Parciální cíle.....	10
1.3 Metody a postupy zpracování .....	11
2 Teoretická východiska.....	12
2.1 Základní pojmy .....	12
2.1.1 Finanční aktiva .....	12
2.1.2 Burzovní trhy .....	12
2.1.3 Komoditní burzy .....	12
2.1.4 Obchodní pozice.....	12
2.1.5 Margin.....	13
2.1.6 Broker.....	13
2.1.7 Volatilita.....	13
2.1.8 Likvidita .....	13
2.1.9 Komise a slippage .....	13
2.1.10 Obchodní příkazy .....	14
2.1.11 Kontraktní měsíce .....	14
2.1.12 Equity křivka .....	15
2.1.13 Obchodní strategie .....	15
2.2 Fundamentální analýza.....	15
2.2.1 Akciové trhy.....	15
2.2.2 Komoditní trhy .....	16
2.3 Technická analýza.....	16
2.3.1 Dowova teorie .....	17
2.4 Typy grafů.....	17
2.4.1 Svíčkový graf .....	18
2.4.2 Čárkový (bar) graf.....	18
2.5 Trendy .....	19
2.5.1 Uptrend (vzestupný trend).....	19
2.5.2 Downtrend (klesající trend).....	19
2.5.3 Boční trend .....	20
2.6 Technické indikátory.....	21
2.6.1 Trendové ukazatele .....	21
2.6.2 Oscilátory .....	23



2.7	Přístupy k obchodování.....	24
2.7.1	Diskréční obchodování.....	24
2.7.2	Automatické obchodní strategie.....	25
2.8	Money management.....	26
2.8.1	Stop-loss.....	26
2.8.2	Drawdown.....	26
2.8.3	Trailing stop-loss.....	27
2.8.4	Profit target.....	27
3	Analýza současného stavu.....	28
3.1	Umělá inteligence.....	28
3.1.1	Neuronové sítě .....	28
3.1.2	Genetické algoritmy .....	28
3.2	E-mini trhy .....	29
3.2.1	E-mini Nasdaq 100.....	29
3.2.2	E-mini Dow Jones .....	29
3.2.3	E-mini S&P 500 .....	30
3.2.4	E-mini Russell 2000.....	30
3.2.5	E-mini S&P MidCap 400.....	30
3.3	Automatické obchodní systémy (AOS).....	31
3.3.1	Formulace strategie .....	31
3.3.2	Definování pravidel pomocí programovacího jazyka .....	31
3.3.3	Předběžné testování.....	31
3.3.4	Optimalizace strategie.....	32
3.3.5	Walk-Forward analýza .....	33
3.4	Breakout strategie.....	35
3.5	Softwarové vybavení.....	36
3.5.1	Adaptrade Builder .....	36
3.5.2	TradeStation .....	37
3.5.3	Market Systém Analyzer (MSA).....	38
4	Vlastní návrhy řešení.....	40
4.1	Workflow vývoje AOS .....	40
4.1.1	Formulace myšlenek .....	40
4.1.2	Programování v jazyku EasyLanguage .....	41
4.1.3	Vizuální kontrola grafu .....	42
4.1.4	Nalezení stop-lossu .....	42

4.1.5	Optimalizace parametrů .....	43
4.1.6	Cluster analýza .....	47
4.1.7	Multi-market a multi-timeframe analýza .....	49
4.2	Strategie č. 1 .....	49
4.2.1	Nalezení breakout úrovně .....	49
4.2.2	Optimalizace filtrů .....	50
4.2.3	Nastavení stop-lossu.....	52
4.2.4	Cluster analýza .....	53
4.2.5	Multi-market a multi-timeframe analýza .....	56
4.3	Strategie č. 2.....	57
4.3.1	Úprava kódu v TradeStation .....	57
4.3.2	Strategie pouze na stranu long .....	58
4.3.3	Nastavení stop-lossu.....	59
4.3.4	Optimalizace parametrů .....	59
4.3.5	Cluster analýza .....	62
4.3.6	Multi-market a multi-timeframe analýza .....	64
4.4	Strategie č. 3.....	65
4.4.1	Nastavení stop-lossu.....	66
4.4.2	Optimalizace parametrů .....	66
4.4.3	Cluster analýza .....	69
4.4.4	Multi-market a multi-timeframe analýza .....	71
4.5	Vyhodnocení portfolia .....	72
4.5.1	Výběr brokera.....	72
4.5.2	Strategie č. 1 .....	72
4.5.3	Strategie č. 2.....	73
4.5.4	Strategie č. 3.....	73
4.5.5	Výsledné portfolio.....	74
4.5.6	Náklady na vývoj a testování strategií .....	75
4.5.7	Doporučení.....	76
Závěr .....		77
Seznam použité literatury.....		79
Seznam obrázků a tabulek.....		82
Obrázky .....		82
Tabulky .....		83
Seznam příloh .....		85

# Úvod

Technická analýza je nástroj, který obchodníkům slouží k analýze a predikci vývoje ceny na finančních trzích. Jako na jakémkoliv jiném trhu jde o vztah mezi nabídkou a poptávkou, který určuje cenu produktu či finančního instrumentu. Díky technické analýze můžeme sledovat historický průběh ceny a na základě toho s určitou pravděpodobností odhadnout i budoucí vývoj. V dnešní době je k dispozici již nespočetné množství komerčních programů k analýze grafů finančních instrumentů, což oproti minulosti obchodníkům velmi ulehčuje práci. K technické analýze lze využívat různé typy grafů s různými časovými rámci a v neposlední řadě je možné do grafu přidat téměř jakýkoliv indikátor.

Zatímco principy fungování trhů (určování ceny na základě poptávky a nabídky) zůstávají neměnné, způsob obchodování zaznamenal nepopíratelný pokrok. S neustálým vývojem informačních technologií se i obchodování, investování, spekulace či jakékoliv jiné aktivity spojené s burzovním trhem přesunuly spíše k elektronické formě. Klasický pitový obchodník (floor-trader) je dnes už spíše výjimkou. Veškeré velké burzy v Chicagu, Londýně, New Yorku a dalších městech již dnes poskytují elektronické obchodování. Tím se otevřely dveře i pro malé investory a obchodníky, kteří mohou začít obchodovat s opravdu minimální počátečním kapitálem, v případě forexu se jedná o několik stovek dolarů.

Trendem dnešní doby je tzv. automatické obchodování, díky kterému lze omezit chyby lidského faktoru při zadávání příkazů a řízení obchodu. S aktivitami na burzovních trzích je spojená určitá míra rizika a v tu chvíli vstupují do hry i emoce a nálada obchodníků. Samozřejmě, někteří obchodníci jsou již natolik zkušení a své emoce, které by mohly negativně ovlivnit průběh daného obchodu, dokážou eliminovat. Nicméně to není ani zdaleka případ většiny obchodníků. Mnoho lidí na trzích přichází o peníze a jen malé procento dokáže vygenerovat zasloužený profit. Pokud máme strategii, která na základě náročného testování s velkou pravděpodobností vydělá peníze v budoucnosti, tak se nabízí otázka: „Proč celý proces obchodování neautomatizovat?“.

Předmětem mé diplomové práce je stavba automatických obchodních strategií a především testování jejich robustnosti. K těmto účelům využiji optimalizační metody komerčních programů a strategie poté podrobím Walk-Forward analýze. Celý proces vývoje a testování strategie je časově i psychicky náročná práce a mnoho začínajících obchodníků testování strategií na robustnost podceňuje.

# **1 Cíle práce, metody a postupy zpracování**

Tato diplomová práce se zabývá stavbou a testováním automatických obchodních strategií na futures trzích. Ke stavbě strategií využiji technické analýzy, dále provedu optimalizaci a testy robustnosti pomocí Walk-Forward analýzy (WFA).

## **1.1 Globální cíl**

Globálním cílem je sestavení portfolia několika automatických obchodních systémů (AOS), které budou navrženy především pro futures na akciové indexy (e-mini trhy). Automatické obchodní systémy budou založeny na metodách technické analýzy a jsou určeny pro pasivní obchodování bez nutnosti aktivního řízení, či jakéhokoliv jiného zásahu obchodníka.

## **1.2 Parciální cíle**

Jedním z parciálních cílů je taktéž vytvoření pracovního workflow pro vývoj, optimalizaci a testování AOS. V rámci tohoto cíle budou definovány veškeré procesy, které je nutné provést při vývoji AOS.

Testování na historických datech a optimalizace vybraných parametrů je taktéž dalším cílem, který nelze opomenout. Při optimalizaci je nutné být ostražitý, aby daná strategie nepodléhala tzv. přeoptimalizaci. V tomto případě velmi často platí pravidlo méně = více, neboli čím více parametrů optimalizujeme, tím se zvyšuje pravděpodobnost, že strategie bude pouze přeoptimalizovanou fikcí. Odpověď na otázku, zda je strategie přeoptimalizovaná či nikoliv, nám poskytne Walk-Forward (cluster) analýza.

Dalším cílem je testování AOS na robustnost, což je kritickou a nejnáročnější částí celého procesu. V tomto kroku bude již sestavená strategie podrobena několika dílčím WFA, které lze také nazvat jako cluster analýzou. Nutno podotknout, že většina vytvořených strategií nesplní náročné testy robustnosti. Nicméně tento krok je kriticky důležitý pro finální posouzení, zda je daná strategie připravena pro obchodování na reálných trzích.

Posledním, nicméně taktéž důležitým cílem, je finální posouzení ziskovosti celého portfolia. V rámci tohoto kroku budou doporučena vhodná pravidla money managementu na základě maximálního drawdownu celého portfolia.

### **1.3 Metody a postupy zpracování**

Metody a postupy zpracování se budou řídit především navrženým workflow pro vývoj automatických obchodních systémů. Při hledání vhodných strategií bude využit program Adaptrade Builder, který pomocí genetických algoritmů navrhuje vhodné strategie. Dalším způsobem je vlastní programování v programovacím jazyce EasyLanguage.

Optimalizace bude provedena již v samotné platformě TradeStation, ve které lze využít nástroj zvaný Walk-Forward Optimizer. Kritickou částí testů robustnosti je cluster analýza, která bude taktéž provedena v TradeStation.

Nástroj zvaný Market System Analyzer (MSA) slouží především pro zhodnocení všech navržených strategií jako portfolia. MSA umožňuje Monte Carlo simulaci, která poskytuje velmi dobrou představu o maximálním drawdownu a ziskovosti celého portfolia. Po tomto kroku je možné jednoznačně stanovit pravidla money managementu.

## **2 Teoretická východiska**

V této kapitole se zaměřím na teoretická východiska diplomové práce, která jsou nutná pro správné porozumění řešeného problému.

### **2.1 Základní pojmy**

#### **2.1.1 Finanční aktiva**

Finanční aktiva lze definovat jako nároky na jmění (příjem na základě vlastnictví určitých právních dokumentů). Vlastníci aktiv očekávají návratnost neboli rozmnožení jejich investovaných peněžních prostředků. Finanční aktiva slouží také jako prostředek k uchování hodnoty. Aktivem mohou být akcie, komodity, měny atd. (9)

#### **2.1.2 Burzovní trhy**

Burza slouží jako prostředek k tvorbě tržních cen a zároveň k utváření cenového systému finančních instrumentů, které se na dané burze obchodují. V dnešní době již existuje celá řada různě zaměřených burz, které se obchodují výhradně elektronicky. (9)

#### **2.1.3 Komoditní burzy**

Komoditních burz dnes na světě existuje již celá řada, jejichž primárním cílem je poskytnout seriózní a spolehlivé prostředí pro realizaci obchodů. Na těchto burzách je možné obchodovat díky zprostředkovatelům, tzv. brokerům. Pro komoditního obchodníka a zároveň pro účely této práce jsou nejdůležitější tyto burzy (5):

**CME-** Chicago Mercantile Exchange

**CBOT-** Chicago Board of Trade

**ICE-** Intercontinental Exchange

**NYMEX-** New York Mercantile Exchange

**NYBOT-** New York Board of Trade (5)

#### **2.1.4 Obchodní pozice**

Při vstupu na jakýkoliv burzovní trh otevíráme tzv. obchodní pozice, jedná se o nákup či prodej konkrétního finančního instrumentu. Pozice lze rozdělit na short a long. Long pozice představuje

nákup na cenové hladině s cílem prodeje na vyšší cenové úrovni. Naopak short pozice znamená prodej na cenové hladině s cílem nákupu na nižší cenové úrovni. (6)

### **2.1.5 Margin**

Na komoditních burzách nikdy neplatíme plnou cenu za obchodovaný kontrakt, nicméně pouze skládáme zálohu (margin). Celý proces nakupování komodit je založen na pákovém efektu. Zaplacením marginu můžeme kontrolovat kontrakt určité komodity v mnohonásobně vyšší hodnotě. Po ukončení obchodu je obchodníkovi celý blokový margin navrácen. (5)

### **2.1.6 Broker**

Brokera lze zjednodušeně nazvat zprostředkovatelem. Nákup a následný prodej finančních instrumentů lze provést pouze prostřednictvím brokera. Broker si za své služby účtuje poplatky, které nazýváme komise. (5)

### **2.1.7 Volatilita**

Volatilita udává jak rychlý a živý je daný trh. Ve vysoce volatilních trzích lze za krátké časové období vydělat mnoho peněz, ale samozřejmě i ztratit. Začínající obchodník by se měl zaměřit spíše na méně volatilní trhy a s přibývajícím zkušenostmi lze začít obchodovat i volatilnější trhy. (5)

### **2.1.8 Likvidita**

Likvidita je velmi důležitý faktor, který poskytuje informaci o tom, kolik kontraktů se v danou chvíli na trhu obchoduje. Pokud je trh dostatečně likvidní, je možné uskutečnit obchod téměř kdykoliv. Méně likvidní trhy lze samozřejmě také obchodovat, nicméně je nutné počítat s tím, že náš příkaz může být vyplněn za mnohem horší cenu, než jsme požadovali. (5)

### **2.1.9 Komise a slippage**

Komisi rozumíme transakční náklady, které si účtuje brokerská společnost za zprostředkování obchodu. Každý broker může mít odlišnou výši těchto transakčních poplatků v závislosti na tom, jaké služby klient využívá (například mezi cenou za zadávání příkazů přes elektronickou platformu a zadáváním obchodních příkazů po telefonu může být značný rozdíl). (6)

Slippage jsou v podstatě také transakční náklady zapříčiněné špatnou kvalitou plnění obchodních příkazů. Ke slippage dochází, pokud máme příkaz na určité cenové úrovni, ale plnění se uskuteční na horší ceně. (6)

Opening gaps jsou otevírací mezery vznikající mezi close předchozího dne a open dalšího dne. Tyto mezery lze také definovat jako jeden z typů cenového slippage pro příkazy typu GTC (Good-Til-Canceled). Pokud otevírací cena na začátku dne překročí stop příkaz pro nákup, dostaneme negativní slippage (ztrátu), tzn. příkaz je vyplněn na horší ceně. (6)

### 2.1.10 Obchodní příkazy

Do obchodní pozice lze vstoupit či vystoupit odlišnými obchodními příkazy. Jedná se o příkazy market, stop a limit. (1)

**Market-** příkaz, který se provede na aktuální ceně.

**Sell limit-** příkaz, který je umístěn nad aktuální cenu a musí být vyplněn na této nebo lepší ceně.

**Buy limit-** příkaz, který je umístěn pod aktuální cenu a musí být vyplněn na této nebo lepší ceně.

**Sell stop-** příkaz se stanovujeme pod aktuální cenu a je proveden, pokud se cena dotkne této úrovně.

**Buy stop-** příkaz se stanovujeme nad aktuální cenu a je proveden, pokud se cena dotkne této úrovně (stop příkaz je vyplněn vždy na rozdíl od limitního příkazu- pokud je dosaženo stop ceny, příkaz se mění na market). (1)

Díky limitním příkazům se lze vyhnout slippage, nicméně vzniká riziko nevyplnění a s tím souvisí vynechání potenciálně profitabilních obchodů. (6)

### 2.1.11 Kontraktní měsíce

Futures trhy mají vždy definované tzv. kontraktní (expirační) měsíce či období. Jakýkoliv futures trh má tedy omezenou životnost a v předem stanoveném čase vyprší. Například futures na akciové indexy mají během jednoho roku 4 expirační období (březen, červen, září a prosinec).

Každé období končí třetí pátek daného expiračního měsíce a nejbližší kontraktní období má většinou nejvyšší likviditu. Kontrakty s nižší likviditou se většinou vyznačují mezerami v cenových grafech, nižší volatilitou a menšími denními pohyby. Na základě těchto poznatků je vhodné obchodovat vždy nejbližší kontraktní měsíc. Zde se nabízí otázka, jak zajistit, aby při testování na historických datech byl použit vždy aktuální kontraktní měsíc. Řešením jsou tzv. continuous contracts.



Pomocí continuous contracts budeme vždy obchodovat v nejbližším kontraktním měsíci (například v dubnu 2014 budeme využívat data z aktuálního kontraktního měsíce, kterým je červen 2014). Continuous contracts jsou tedy historická data všech nejbližších a nejaktivnějších kontraktních měsíců spojená do jednoho souboru. (6)

#### **2.1.12 Equity křivka**

Equity křivka představuje grafické znázornění kumulovaných zisků a ztrát dané strategie. Na equity křivce je znázorněn růst a pokles kumulovaného kapitálu. Maximální pokles na equity křivce lze nazvat jako maximální drawdown. (6)

#### **2.1.13 Obchodní strategie**

Obchodní strategie je metodické řízení pozic na základě jasně definovaného plánu s cílem generování maximálního profitu na finančních trzích. (6)

### **2.2 Fundamentální analýza**

Fundamentální analýza se zabývá detailním zkoumáním ekonomických, politických, sociálních, geografických a demografických faktorů, které ovlivňují vývoj akciových kurzů (popřípadě cen jiných finančních instrumentů). (14)

#### **2.2.1 Akciové trhy**

Fundamentální analýza je založena na předpokladu, že vnitřní hodnoty (teoretické ceny) akcií jsou odlišné od jejich reálných aktuálních tržních cen. Z toho vyplývá, že pokud je vnitřní hodnota akcie vyšší než její aktuální kurz, je daná akcie podhodnocená a naopak. V případě obchodování akcií fundamentální obchodník hledá a analyzuje faktory, které ovlivňují vnitřní hodnotu akcií. Jelikož firmy podnikají v ekonomickém prostředí, snaží se obchodník postihnout všechny ekonomické faktory, které mohou ovlivnit hospodaření dané společnosti. Fundamentální obchodník spekulující na pokles či růst akcií se rozhoduje na základě několika analýz (9):

##### **Globální (makroekonomická) analýza**

Analýza, jejímž cílem je identifikace, prozkoumání a zhodnocení vlivu celé ekonomiky a trhu na hodnotu analyzované akcie. K popisu stavu a vývoje ekonomik a trhů slouží především důležité makroekonomické agregáty (úrokové míry, inflace, peněžní zásoba apod.).

##### **Odvětvová (oborová) analýza**

Analýza, jejímž cílem je identifikace specifík jednotlivých odvětví, ve kterém daná společnost působí. V rámci odvětvové analýzy zkoumáme vliv specifických odvětvových rysů na vnitřní

hodnotu akcie. Důležitými odvětvovými faktory, které ovlivňují vnitřní hodnotu akcie, jsou především životní cyklus odvětví, citlivost odvětví na hospodářský cyklus, role regulačních orgánů a tržní struktura odvětví.

### **Analýza jednotlivých akciových společností a jejich akcií**

Zaměřuje se na ohodnocení firemních charakteristik a faktorů, které ovlivňují vnitřní hodnotu akcie. Vypočtenou vnitřní hodnotu akcie poté analytici hodnotí v souvislosti s aktuálním kurzem na trhu a kategorizují akcie jako podhodnocené, nadhodnocené nebo správně oceněné. (14)

#### **2.2.2 Komoditní trhy**

Fundamentální komoditní obchodníci se sice při svém obchodování rozhodují na základě nabídky a poptávky, nicméně berou v úvahu i zásoby, počasí a jiné faktory, které ovlivňují jejich rozhodnutí. Příkladem může být předpověď mrazů, při které fundamentální obchodník spekuluje na snížení produkce pomerančů a tak na růst ceny pomerančů. Nutno podotknout, že fundamentální analýza vyžaduje hlubokou znalost dané komodity. V případě výše uvedeného obchodu s pomeranči musí brát obchodník v úvahu fakt, že malá úroda může být zastoupena dovozem z jiné krajiny a podobně. Proto se fundamentální obchodník zaměřuje pouze na několik málo komodit, jejichž studiu věnuje celý svůj čas. (5)

### **2.3 Technická analýza**

Technická analýza se využívá k predikci budoucího vývoje ceny daného aktiva, vychází z historický údajů vývoje ceny, objemu obchodů a dalších dostupných informací.

Obchodníci, kteří obchodují na základě technické analýzy, hledají v grafu opakující se trendy vývoje ceny a vycházejí z předpokladu, že lidské chování a reakce zůstávají za určitých okolností stále stejné. Techničtí obchodníci preferují tvrzení, že při analýze grafu je rozhodující vztah mezi nabídkou a poptávkou, který určuje vývoj ceny. Tito obchodníci se snaží predikovat budoucí vývoj cen finančních instrumentů a také cenové hladiny, ve kterých je vhodné do trhu vstoupit resp. vystoupit. (9)

Na rozdíl od fundamentální analýzy, která se zabývá spíše otázkou, co obchodovat, technická analýza stanovuje vhodné cenové úrovně pro nákup či prodej konkrétního finančního instrumentu. Techničtí obchodníci tedy hledají odpověď na otázku, kdy obchodovat. Technickou analýzu lze považovat za analýzu krátkodobou.

V minulosti byl problém se sestavováním a vyhodnocováním grafů na základě technické analýzy, ale v důsledku rozšiřování výpočetní techniky jsou data pro technickou analýzu grafů stále dostupnější. Nyní je k dispozici již mnoho indikátorů, které jsou založeny na různých matematických formulích využívající například cenu, objem zrealizovaných obchodů a další, které lze do grafů přidávat. (9)

### **2.3.1 Dowova teorie**

Charles H. Dow začal v roce 1885 sledovat pohyb kurzů nejdůležitějších amerických podniků a položil tak základ Dow Jonesova indexu (DJIA - Dow Jones Industrial Average), který se používá dodnes. Jedna z prvních teorií pro určování budoucího vývoje na trzích se tedy nazývá Dowova teorie. Tato teorie pro určování globálního trendu na akciových trzích je založena na předpokladu, že vývoj kurzů jednotlivých akcií se pohybuje stejným směrem jako celý akciový trh. (11)

S Dowovou teorií souvisí i několik poznatků. V akciových indexech se odráží dění na akciových trzích a obchodníci pomocí zadávání příkazů vytvářejí agregovanou nabídku a poptávku. Dále Dowova teorie říká, že budoucí vývoj akciových burzovních indexů lze odvodit z jejich minulého vývoje. Teorie se opírá pouze o uzavírací ceny jednotlivých akcií, které lze použít k predikci dalšího vývoje trendů. Trendy lze rozdělit do několika kategorií podle délky trvání (9):

#### **Primární trendy**

Doba trvání primárních trendů je zpravidla delší než 1 rok, zahrnují veškeré faktory globálního, odvětvového i podnikového charakteru.

#### **Sekundární trendy**

Sekundární trendy představují reverzní pohyby v rámci primárních trendů (jedná se o korekce primárních trendů) s dobou trvání od několika týdnů po několik měsíců.

#### **Terciární trendy**

Doba trvání terciárních trendů je jen několik dnů, jsou to pouze krátkodobé výkyvy jednotlivých akcií. (9)

## **2.4 Typy grafů**

Grafy jakéhokoliv trhu jsou vykreslovány pomocí úseček a každá úsečka v sobě nese čtyři informace. Open je cena, za kterou trh otevřel na dané úsečce. High je cenové maximum, analogicky low představuje cenové minimum a close je cena, za kterou trh uzavřel na dané úsečce.

Nejčastějším typem vykreslování trhů jsou svíčkové (candlestick) grafy a potom čárové grafy (bar charts). Oba typy grafů nám dávají totožnou informaci o open, close, high a low, rozdíl je pouze v grafické interpretaci.

Každá cenová úsečka představuje určité časové období, které záleží na zvoleném timeframe (časovém rámci). Pokud budeme mít otevřený denní graf, hodnoty open, close, high a low se budou vztahovat k časovému období jeden den. Neboli na jaké ceně trh otevřel/uzavřel a jaké high/low v průběhu dne nastalo. Pokud budeme pracovat s 5minutovým časovým rámcem, všechny výše uvedené informace se budou vztahovat k časovému úseku 5 minut. (7)

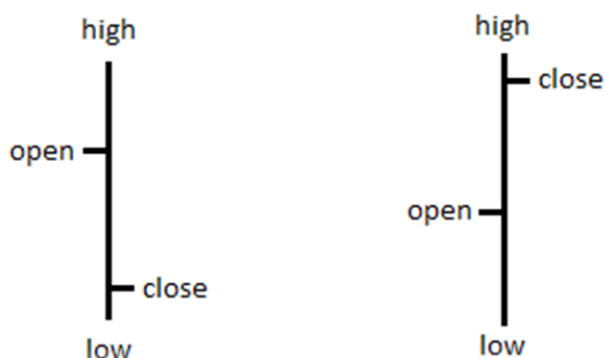
### 2.4.1 Svíčkový graf



Obrázek č. 1: Rostoucí a klesající svíčka (Zdroj: vlastní)

Na výše uvedeném obrázku jsou zobrazeny svíčky, zelená představuje rostoucí svíčku a červená klesající. Pro ukázkou bylo použito tohle barevné rozlišení, nicméně každý obchodník si může barvy nastavit dle vlastních preferencí. (7)

### 2.4.2 Čárkový (bar) graf



Obrázek č. 2: Klesající a rostoucí bar (Zdroj: vlastní)

V čárkovém grafu nejsou úsečky rozlišeny barevně na rostoucí a klesající, ale v zásadě to není problém. Pokud je close výše než open, jde o rostoucí úsečku a pokud je close níže než open, jedná se o klesající úsečku. (7)

## 2.5 Trendy

Dokonce i nezkušenému obchodníkovi začne být po chvíli jasné, že v trhu lze nalézt určité trendy. Trend ve své podstatě představuje celkový pohyb ceny a v grafu lze identifikovat v zásadě tři typy: uptrend (býčí trh), downtrend (medvědí trh) a boční trend. (4)

### 2.5.1 Uptrend (vzestupný trend)

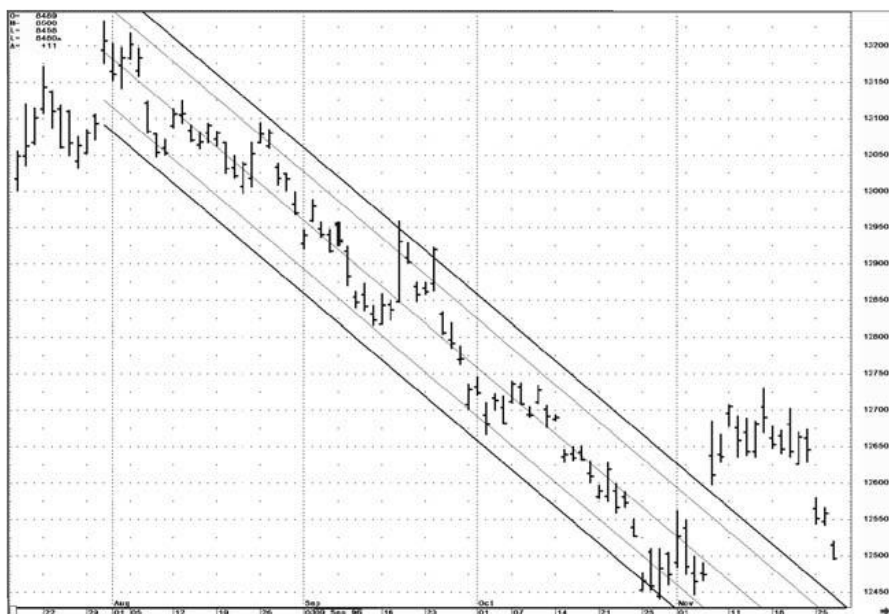
Cena v daném okamžiku roste, neboli vytváří nové high. Trendy mohou v trhu přetrvávat několik minut i několik let. Čím je trend časově delší, tím je silnější. Uptrend je charakteristický tím, že cena neustále tvoří vyšší maxima (higher highs) a vyšší minima (higher lows). (4)



Obrázek č. 3: Uptrend (Zdroj: (6))

### 2.5.2 Downtrend (klesající trend)

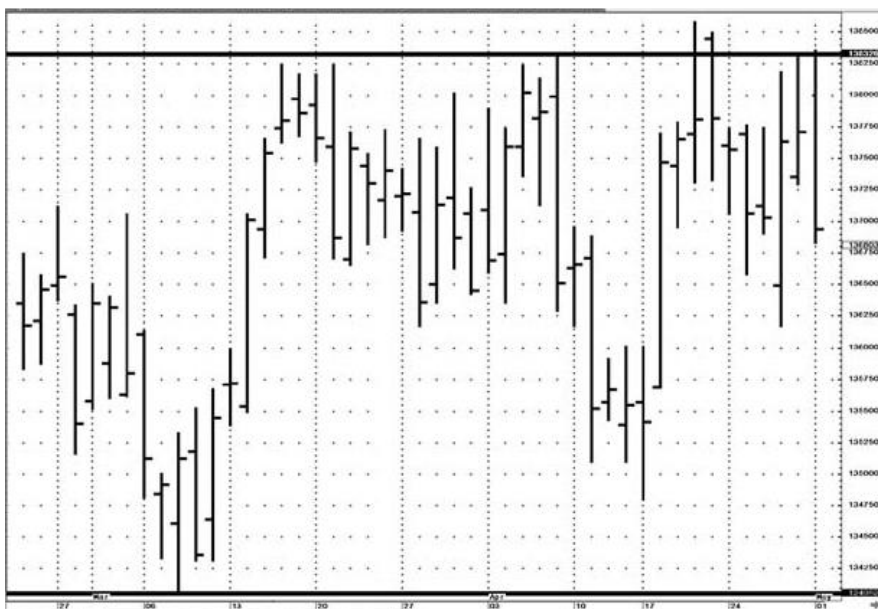
Medvědí trhy mají naopak klesající tendenci. Downtrend, jak již z logiky věci vyplývá, je opakem uptrendu. V trhu se postupně tvoří nižší minima (lower lows) a nižší maxima (lower highs). (4)



Obrázek č. 4: Downtrend (Zdroj: (6))

### 2.5.3 Boční trend

Cyklické trhy oscilují krátkými býčími a medvědími pohyby pouze v rámci omezeného rozmezí. V delším časovém horizontu jsou tyto trhy v podstatě rotující, tzn. pohybující se od low po high daného cyklu. Cena se pohybuje velmi nepravidelně a nejasným směrem. (4,6)



Obrázek č. 5: Cyklický trh (Zdroj: (6))

## 2.6 Technické indikátory

Technické indikátory jsou matematicko-statistické výpočty, které se přidávají do grafů pro určování budoucího vývoje trhů. Dnes již máme k dispozici nepřeberné množství indikátorů, které lze rozdělit do 2 kategorií (4):

- Trendové ukazatele
- Oscilátory

### 2.6.1 Trendové ukazatele

Jak již název napovídá, trendové ukazatele slouží především k určení trendu. Jejich úkolem je zachytit a matematicky popsat trend. Je nutné podotknout, že trendové indikátory jsou zpožděné a reagují na pohyb ceny, tedy nelze od nich očekávat obchodní signály dopředu. Trendové ukazatele velmi dobře fungují v trendujících trzích a naopak v bočních trendech mohou přinést mnoho falešných signálů. Z těchto důvodů se velmi často používají pouze pro určení trendu a samotný vstup do obchodu je definován na základě podrobnějších podmínek. (4)

#### 2.6.1.1 Klouzavé průměry

Klouzavé průměry v podstatě vyhlazují prudké výkyvy cen a identifikují právě probíhající trend. Nevýhodou klouzavých průměrů je bezesporu jejich časové zpoždění oproti aktuálnímu vývoji cen/kurzů, které závisí především na délce (zvolené periodě).

Pro klouzavé průměry platí několik pravidel. Při analýze hlavních trendů je vhodné použít delší periodu, například 150- 200 dnů a naopak při analýze krátkodobých trendů volíme periodu pouze několik dnů. Při analýze hlavních trendů pomocí klouzavých průměrů s malou periodou (například 30 dnů) bychom dostávali velké množství falešných signálů a při analýze krátkodobých trendů není vhodné volit velké periody (například 200 dnů), jelikož nižší periody reagují rychleji. (9)

Klouzavých průměrů je v dnešní době mnoho, nicméně mezi nejpoužívanější lze zařadit následující (2):

#### Jednoduchý klouzavý průměr (SMA)

Jednoduchý klouzavý průměr udává průměrnou hodnotu údajů v šíři svého časového rámce. Například jednoduchý klouzavý průměr s periodou 5, nám udává průměrnou hodnotu za posledních 5 úseček. (2)

$$SMA = \frac{P_1 + P_2 + \dots P_n}{n}$$

### Exponenciální klouzavý průměr (EMA)

Exponenciální klouzavý průměr je pro analýzu trhů užitečnějším nástrojem než jednoduchý klouzavý průměr. EMA přiřazuje aktuálnějšímu časovému údaji vyšší váhu a tím rychleji reaguje na změny.

$$EMA = P_{\text{tod}} * K + EMA_{\text{yest}} * (1 - K), \text{ kde } K = \frac{2}{N + 1}$$

N = počet dnů, pro které EMA počítáme;

P<sub>tod</sub> = dnešní cena;

EMA<sub>yest</sub> = včerejší hodnota EMA (2,13)

#### 2.6.1.2 Bollingerova pásma

U Bollingerova pásma se šířka obálky mění v závislosti na volatilitě kurzu daného aktiva. I přesto, že umožňuje využívat různé druhy klouzavých průměrů, se v praxi většinou odvozuje od jednoduchého klouzavého průměru. Jak již bylo zmíněno, mezera mezi pásmy je založena především na volatilitě. Pokud se prostor mezi pásmy zúží, jedná se o fázi konsolidační, po níž se očekává prudká změna kurzu. (9)

V případě Bollingerových pásem nelze hovořit o jednoznačných signálech pro vstup do trhu, spíše nám poskytují globální pohled na trh a jeho volatilitu. Podle šířky pásma lze usuzovat, zda je trend silný a mohla by nastat korekce nebo jestli jde momentálně trh do strany, což by mohlo indikovat možný vznik trendu. (4)

#### 2.6.1.3 MACD- Moving Average Convergence Divergence

MACD vyjadřuje vztah mezi dvěma klouzavými průměry. Pokud budeme brát v potaz obvyklé nastavení MACD s periodami 12, 26, 9 (MACD (12, 26, 9)), tak se jedná o rozdíl klouzavých průměrů EMA 12 a EMA 26. Do grafu se ještě přidává tzv. spouštěcí linie (trigger), která v uvedeném příkladu představuje EMA 9. Jakmile MACD protne svoji spouštěcí linii zdola nahoru, jedná se o nákupní signál a v opačném případě MACD indikuje prodejní signály. (4,9)

#### 2.6.1.4 TR- True Range a ATR- Average True Range

Koncept zvaný True Range je definován jako největší hodnota z následujících:

- rozdíl mezi současným High a současným Low
- rozdíl mezi současným High a předchozím Close (absolutní hodnota)
- rozdíl mezi současným Low a předchozím Close (absolutní hodnota) (4)



TR logicky nemá žádnou periodu, naopak pro správnou funkci ATR je nutné zadat časovou periodu, neboli z kolika úseček nazpět se bude počítat hodnota ATR. Pokud bude zvolená perioda například 14, ATR bude vypočítáno jako průměrné True Range 14 úseček nazpět. (18)

## **2.6.2 Oscilátory**

Oscilátory znázorňují krátkodobější pohyby na trhu. Jedná se o dynamické proměnné, které se pohybují mezi danými hranicemi a oscilují kolem nulové linky. Pomocí oscilátorů lze lépe odhadovat náladu na trhu a možný směr trendu. (13)

### **2.6.2.1 RSI- Relative Strength Index**

RSI neboli index relativní síly je velmi oblíbený oscilátor, který nabývá hodnoty od 0 do 100, přičemž 0 indikuje přeprodaný trh a lze očekávat růst trhu. Hodnota 100 napovídá, že se jedná o překoupený trh a lze očekávat pokles. K hodnotě 0 se RSI v reálném obchodování dostane velmi zřídka a jako praktičtější se jeví hodnoty 30 a 70. Vzorec pro výpočet (4):

- $RSI = 100 - (100 / (1 + RS))$ ,
  - kde RS = součet kladných cenových změn za dané časové období / součet záporných cenových změn za dané časové období. (4,13)

### **2.6.2.2 CCI- Commodity Channel Index**

CCI měří pohyby ceny kolem jejího statistického průměru. Pokud má CCI vyšší hodnotu než 100, naznačuje to, že jsou ceny neobvykle vysoko nad svou průměrnou hodnotou. Hodnoty větší než  $\pm 100$  indikují silný trend a  $\pm 200$  naznačují překoupenost a přeprodanost daného trhu. Stejně jako u výše zmíněného RSI hledáme na těchto indikátorech divergence, popřípadě překoupené a přeprodané oblasti. Vzorec pro výpočet je následující (4):

- $CCI = (cena - MA) / (0,015 \times D)$ ,
  - kde MA je klouzavý průměr a D reprezentuje normální odchylku. (4)

### **2.6.2.3 Stochastic**

Stochastic je dalším velmi rozšířeným a oblíbeným oscilátorem. Ukazatel se pohybuje v rozmezí od 0 do 100. Stochastic je charakteristický tím, že zahrnuje dva ukazatele- %K a %D. Tyto ukazatele jsou v podstatě dvě téměř souběžné čáry, které svým křížením indikují směr a sílu trendu. Jako hraniční čáry tohoto oscilátoru se využívají především hodnoty 20 a 80. Pokud je hodnota vyšší než 80, potom se jedná o překoupený trh a pokud je hodnota nižší než 20, lze trh považovat za přeprodaný. (4)

- $\%K = 100 \times ((C-L) / (H - L))$ 
  - kde C je poslední závěrací cena, L je hodnota low v daném časovém úseku a H je hodnota high v daném časovém úseku
- $\%D = 100 \times (H_n / L_n)$ 
  - kde  $H_n$  je n-denní (nebo jiné periody) součet (C-L) a  $L_n$  je n-denní (nebo jiné periody) součet (H - L) (4)

#### **2.6.2.4 ADX- Average Directional Index**

ADX vytvořil Welles Wilder, který tento indikátor využil ve svém systému zvaném Directional Movement System. Tento oscilátor slouží především k určení síly trendu v daném trhu. Hodnoty se pohybují v rozmezí od 0 do 100, přičemž hodnoty nižší než 20 indikují slabě trendující trh a hodnoty nad 40 naznačují silný trend. Nutno podotknout, že hodnoty vyšší než 60 jsou velmi vzácné. Rostoucí hodnoty tohoto indikátoru tedy znamenají silící trend, který může být jak rostoucí, tak i klesající. (15)

ADX je složen ze dvou dalších indikátorů, jedná se o DI neboli Directional Indicator, přičemž rozlišujeme DI+ a DI-. DI+ vyjadřuje sílu rostoucího trendu a DI- naopak sílu klesajícího trendu. Kumulací těchto dvou indikátorů získáme DX (Directional Index) a po vyhlazení klouzavým průměrem dostáváme ADX. Pokud ADX překročí hodnotu 20 směrem nahoru, jedná se pravděpodobně o začátek nového trendu a jestli ADX překročí hranici 40 shora, potom trend začíná slábnout. Pro rostoucí trh je charakteristické, že DI+ roste a DI- klesá a naopak pokud je trh momentálně v downtrendu, potom DI- roste a DI+ klesá. Jestliže se DI+ a DI- po delší dobu pohybují paralelně vedle sebe, je nutné se mít na pozoru, protože trh jde pravděpodobně do strany. (15)

## **2.7 Přístupy k obchodování**

V zásadě lze obchodníky rozdělit do dvou kategorií, někteří obchodníci se věnují diskrečnímu obchodování a jiní dávají přednost maximálně mechanickému (mnohdy automatizovanému) přístupu.

### **2.7.1 Diskréční obchodování**

Při diskrečním obchodování závisí vše na znalostech, zkušenost, emoční rovnováha a disciplíně daného obchodníka. Kromě toho, že diskreční obchodník musí mít dokonale zvládnuté veškeré zákonitosti na daných trzích, především musí perfektně ovládat sebe samotného a svou emoční stránku. Základem jakéhokoliv typu tradingu je systematické dodržování plánu, což je jednou

z hlavních příčin neúspěchu většiny obchodníků. Tento problém lze demonstrovat na příkladu tradera, který systematicky dodržuje plán a zrovna se potýká s drawdownem. Pro mnoho diskrečních obchodníků zrovna v tuto chvíli nastává zásadní problém, přichází ztráta za ztrátou a obchodník již nemá dostatek emočního kapitálu, aby vstoupil do dalšího obchodu. Sebedůvěra a důvěra ve vlastní plán značně upadá. (6)

V tomto typu obchodování však nalézt i nesporné výhody. Většina diskrečních obchodníků vykazuje vyšší zisky než strategie založené na mechanickém obchodování. George Soros, Paul Tudor Jones, Bruce Kovner a další jsou velmi úspěšní diskreční obchodníci s několika bilióny dolarů na účtech, což postačuje k tomu, aby bylo možné tvrdit, že diskreční trading opravdu funguje. (6)

## **2.7.2 Automatické obchodní strategie**

Boom automatického obchodování proběhl cca v roce 1990. V tu chvíli byli ve výhodě především profesionální obchodníci a velké společnosti. Pro malého obchodníka byly v té době vyspělé počítače, na kterých by se daly stavět automatické strategie, docela drahé. Postupem času se i informační technologie posunuly na vyspělejší úroveň a v dnešní době již není problém i pro individuálního obchodníka pořídit si počítač, který zvládne otestovat automatické strategie. Technologie, historické grafy a software jsou dnes k dispozici za velmi přijatelnou cenu. (6)

V zásadě lze nalézt hned několik důvodů, proč se věnovat automatickému obchodování. Výhodou automatického obchodování je omezení lidského faktoru (emocí) a přesná kvantifikace rizika. V neposlední řadě získáme schopnost obchodovat neomezené množství trhů, jelikož do trhů vstupujeme okamžitě, aniž bychom museli zadávat jakékoliv příkazy ručně. (13)

S obchodováním je spojena celá řada lidských emocí a díky automatickému obchodování je možné některé z nich eliminovat. Typickým příkladem negativních emocí ovlivňujících rozhodování obchodníka jsou strach, chamtivost a nedostatek/přemíra sebedůvěry. Emoce jsou sice nedílnou součástí lidského chování, nicméně z pohledu tradingu je nutné omezit vliv emocí na minimum, aby bylo možné dodržovat konzistentně a bezchybně stanovený plán. Konzistentní dodržování stanoveného plánu je hlavním předpokladem úspěchu v tak nejistém prostředí, jako jsou burzovní trhy. (12,13)

Na druhou stranu stavba a testování automatických strategií není jednoduchý proces a pro mnoho obchodníků může být dokonce frustrující. Je téměř jisté, že většina strategií neprojde Walk-Forward či cluster analýzou a nebude možné ji nasadit do živého obchodování. Avšak pokud

chceme za své úsilí inkasovat profit, je nutné testování strategií obětovat mnoho času a mnohdy i energie. (6)

## **2.8 Money management**

Při vstupu do trhu je nutné, aby obchodník počítal s tím, že podstupuje určité riziko. Bez kvalitního money managementu přijde den, kdy obchodník nebudeme dále schopen pokračovat v tradingu, protože špatně řídil risk. Základním pravidlem úspěšného obchodování je riskování pouze omezeného množství kapitálu. (6)

### **2.8.1 Stop-loss**

Prvním nutným opatřením při tradingu je stop-loss příkaz, který limituje riziko v rámci jednoho právě probíhajícího obchodu. Stop-loss příkaz zadáváme do trhu hned při vstupu do konkrétní pozice a pokud je dosaženo této hranice, pozice je automaticky ukončena. (6)

Nabízí se hned několik způsobů, jak definovat risk na jeden obchod. Stop-loss může být vyjádřen jako procento celkového kapitálu, např. 5%. Tedy pokud máme kapitál \$10000 ( $5\% = \$500$ ), potom náš stop-loss při otevřené pozici bude maximálně \$500. Dále můžeme náš stop-loss určovat na základě volatility, například pomocí indikátorů TR, ATR a podobně. (1,12)

### **2.8.2 Drawdown**

Spolehlivým měřítkem celkového risku zvolené strategie je bezesporu maximální drawdown. Pomocí maximálního drawdownu zjištěného při historické simulaci můžeme poté definovat risk na celou strategii. V tradingu není nic stoppercentní a nikdy není jisté, že strategie nemůže v budoucnu dosáhnout ještě většího drawdownu. Proto je vhodné definovat maximální drawdown, při kterém naši strategii vyřadíme z provozu. Maximální drawdown vynásobíme například číslem 1,5 (safety factor) a pokud strategie dosáhne takového drawdownu, strategii vypínáme. Tedy maximální historický drawdown je například \$2000, pokud v živém obchodování poklesne kapitál o \$3000 ( $\$2000 \times 1,5 = \$3000$ ), vypneme strategii. (6)

Tomáš Nesnídal ze serveru Finančník doporučuje podobná pravidla pro vypnutí strategie. Po překročení úrovně 1,5- 2násobku historického drawdownu strategii vypíná, popřípadě re-optimalizuje. Taktéž lze na Finančníku.cz nalézt velmi vhodný a především konzervativní způsob pro kapitalizaci účtu. Nesnídal doporučuje kapitalizaci ve výši 4- 5násobku maximálního drawdownu dané strategie z historického backtestu. Pokud máme k dispozici již určité portfolio strategií, je situace trochu odlišná. V tomto případě je vhodné kapitalizovat účet 4- 5x více než maximální drawdown z Monte Carlo analýzy celého portfolia. (21)

### **2.8.3 Trailing stop-loss**

Trailing stop-loss je dynamický příkaz, který se automaticky posunuje nahoru s novými high v long pozici a dolů s novými low v short pozici, aby nám ochránil otevřený profit dané pozice. Ideální trailing stop-loss zajišťuje maximální otevřený profit, zatímco trh může tzv. „dýchat“ v rámci volatility (většina trhů dělá zpětné pohyby- swingy). Trailing stop-loss lze opět stanovit buď na základě pevného dolarového vyjádření nebo pomocí volatility. (6)

### **2.8.4 Profit target**

Profit target je cenová úroveň, na které je pozice okamžitě a bezpodmínečně ukončena. Jakmile se trh dostane na stanovenou úroveň, okamžitě inkasujeme profit. Na rozdíl od trailing stop-lossu nehrozí riziko, že se trh vrátí a my o profit přijdeme. Nicméně pokud ukončíme pozici na profit targetu a trh pokračuje v nastoleném trendu, můžeme se připravit o značnou část profitu. Strategie s profit targetem jsou většinou méně ziskové, ale mají vyšší procento úspěšných obchodů a většinou stabilnější equity. Obecně lze říci, že proti-trendové strategie, které vstupují na překoupených nebo přeprodaných úrovních jsou úspěšnější s profit targetem a naopak pomalé trendující strategie jsou ziskovější s trailing stop-lossem. (6,13)

### **3 Analýza současného stavu**

V této části diplomové práce se zaměřím na výhody, nevýhody a především současné trendy vývoje automatických obchodních strategií. Dále definuji pojem breakout strategie a v neposlední řadě zmíním softwarové vybavení pro vývoj, testování a optimalizaci strategií.

#### **3.1 Umělá inteligence**

Tato část práce se zabývá využitím umělé inteligence na finančních (burzovních trzích). Jedná se především o genetické algoritmy a neuronové sítě. Umělá inteligence je pro účely této práce vhodná především pro optimalizační úlohy (hledání vhodných strategií, optimalizace parametrů apod.).

##### **3.1.1 Neuronové sítě**

Umělé neuronové sítě jsou struktury, které byly inspirovány biologickými neurony. Jedná se o systémy založené na vzájemném propojení buněk- neuronů. Výstupy neuronových sítí jsou realizovány na základě učení ze vstupních dat (trénovací množiny dat), proces neuronových sítí tedy spočívá v hledání algoritmu k řešení dané úlohy. (8)

Nespornou výhodou této technologie je možnost zachycení nelineárních vztahů a komplexních řešení. Neuronové sítě jsou v zásadě odolnější vůči vstupním datům, příkladem mohou být neúplné časové řady atd.

Na druhou stranu neuronové sítě skýtají i mnohá úskalí, metody neuronových sítí ve většině případů nejsou schopny zajistit identickou reprodukovatelnost výsledků. I přesto to, že jsou opakovaně analyzovány stále totožné soubory vstupních dat, tak v rámci neuronových sítí nejsou zaručeny stejné výsledky. Tento fakt je zapříčiněn například odlišným typem neuronových sítí, různými parametry pro trénink sítě a různou dobou trvání trénování neuronové sítě. Vhodnost použitých statických a analytických metod nelze posuzovat z pohledu modernosti užití technologie a vždy by mělo být zachováno pravidlo, že zvolená metoda závisí především na řešené úloze. (3)

##### **3.1.2 Genetické algoritmy**

Genetické algoritmy jsou podskupinou tzv. evolučních algoritmů a byly inspirovány evoluční teorií Charlese Darwina. Genetické algoritmy jsou založeny na spojení nahodilosti a řádu. Využívají se tam, kde není možné nalézt řešení předem definovaným algoritmem s konečným počtem kroků a v úlohách, ve kterých hraje velkou roli nahodilost. Genetické algoritmy využívají

proces selekce, rekombinace a mutace, přičemž řešení jsou nalezeny mnohdy v kratším časovém horizontu než při použití jiných metod. Výhodou genetických algoritmů je hledání optimálních řešení s využitím optimalizačního kritéria zvaného fitness function. (3)

Hledání optimálního řešení je založeno na generování populací, které se skládají z jednotlivých chromozomů. První populace je vytvořena náhodně a následně jsou chromozomy ohodnoceny na základě optimalizačního kritéria. Poté je pomocí selekce, rekombinace a mutace sestavena další populace. Genetický algoritmus je možné ukončit mnohými způsoby, například předem stanoveným počtem iterací. Dalším možným způsobem ukončení algoritmu je nalezení vhodného kandidáta, jehož parametry byly definovány taktéž před spuštěním genetického algoritmu. (3)

## **3.2 E-mini trhy**

E-mini trhy jsou v podstatě menší varianty futures na americké indexy, základními a nejvíce obchodovanými jsou E-mini Dow Jones, E-mini S&P 500, E-mini Russell 2000 a E-mini Nasdaq 100. Všechny výše uvedené trhy mají hlavní obchodní hodiny mezi 15:30- 22:15 našeho času.

Všechny indexy se obchodují ve čtvrtletním cyklu, v jednom roce má každý index 4 expirační měsíce- březen (March), červen (June), září (September) a prosinec (December). Většina obchodníků respektuje jakési nepsané pravidlo, že k přesunu do následujícího expiračního měsíce dochází druhý čtvrtek v příslušných měsících (tedy v březnu, červnu, září a prosinci). Například k největšímu přesunu likvidity z kontraktního měsíce březen do následujícího měsíce červen roku 2014, došlo pravděpodobně 13. 3. 2014. (7)

### **3.2.1 E-mini Nasdaq 100**

E-mini Nasdaq 100 je spíše levnější z celé škály e-mini futures na akciové indexy a v platformách má zkratku NQ. Cena je odvozena od indexu Nasdaq 100, který obsahuje 100 akcií největších technologických společností z různých oblastí. Plný bod na tomto trhu má hodnotu \$20 a nejmenší pohyb je 0,25 bodu, tedy \$5.

Kontrakt se obchoduje na burze CME (Chicago Mercantile Exchange) a je využíván především začínajícími obchodníky. E-mini Nasdaq 100 je méně volatilní a v kombinaci s pětidolarovou hodnotou ticku nabízí méně riskantní obchodování s velmi malými stop-lossy. (7)

### **3.2.2 E-mini Dow Jones**

Další velmi vhodný a dostupný trh pro začínající obchodníky je E-mini Dow Jones, který se označuje YM a je odvozený od většího indexu Dow Jones Industrial Average (DJIA). DJIA je

bezesporu jeden z nejstarších indexů a skládá se z 30 akcií nejvýznamnějších a nejvíce obchodovaných amerických společností.

I tento trh se obchoduje na burze CME, nejmenší pohyb je jeden plný bod, který má hodnotu \$5. Trh má menší likviditu než NQ a při větším počtu kontraktů může občas docházet k horšímu plnění. (7)

### **3.2.3 E-mini S&P 500**

Trh s největší likviditou je bezesporu E-mini S&P 500, který v platformách nalezneme pod zkratkou ES. Ceny trhu se opět odvíjí od nejsledovanějšího a nejvíce obchodovaného akciového indexu S&P. S&P zahrnuje 500 akcií největších společností aktivně obchodovaných v USA.

Hodnota plného bodu na trhu ES je \$50, nejmenší pohyb je 0,25 bodů, což představuje \$12,50. Tento trh je nejdražší ze všech e-mini trhů, na druhou stranu má obrovskou likviditu a není problém v jeden okamžik zobchodovat desítky někdy i stovky kontraktů najednou. I tento trh se obchoduje na burze CME. (7)

### **3.2.4 E-mini Russell 2000**

E-mini Russell 2000 je založen na akciovém indexu Russell 2000, který obsahuje 2000 akcií menších společností. E-mini Russell se tímto odlišuje od ostatních, které jsou odvozeny většinou z akcií největších společností. Od roku 2008 se trh obchoduje na burze ICE (Intercontinental Exchange) pod zkratkou TF.

Hodnota plného bodu na trhu TF představuje \$100, nejmenší pohyb je 0,1 bodů. Nejmenší pohyb má tedy hodnotu \$10. E-mini Russell 2000 patří spíše mezi volatilnější a živější trhy, který přitahuje spíše zkušené a agresivnější obchodníky. (7)

### **3.2.5 E-mini S&P MidCap 400**

Dalším oblíbeným trhem je E-mini S&P MidCap 400, který se na burze CME obchoduje pod zkratkou EMD. Denní rozpětí je podobné jako u trhu E-mini Russell 2000. Tento trh může být pro některé obchodníky vhodnější, protože tvoří méně falešných průrazů (signálů).

Trh se hýbe po 1 ticku, který představuje 0,1 bodů a má hodnotu \$10. Celý bod na trhu E-mini S&P MidCap 400 má hodnotu \$100. (22)



### **3.3 Automatické obchodní systémy (AOS)**

Automatické obchodní strategie jsou dnes již na burzovních trzích téměř samozřejmostí. Jedná se o strategie, které jsou pomocí některého z programovacích jazyků zautomatizovány. Kvalitní automatická strategie musí být robustní a pečlivě otestovaná než bude nasazena na reálný obchodní účet. Je velmi obtížné obchodovat profitabilní systém bez systematického přístupu k tradingu. Stavbu a testování automatické obchodní strategie můžeme rozdělit do několika kroků (6):

1. Formulace strategie
2. Definování pravidel pomocí programovacího jazyka
3. Předběžné testování
4. Optimalizace strategie
5. Walk-Forward analýza (6)

#### **3.3.1 Formulace strategie**

Prvním krokem při stavbě automatických obchodních systémů je definování pravidel, jedná se o formulaci prvotních myšlenek, na kterých bude celá strategie postavena. Strategie může být velmi jednoduchá, ale naopak i extrémně komplexní. Nutno podotknout, že funkční strategie nemusí být založena na obrovském množství parametrů, mnohdy jsou dokonce ty nejjednodušší myšlenky nejefektivnější cestou k úspěchu. V tomto kroku stanovujeme pravidla vstupů a výstupů z trhu na základě technické analýzy. Veškerá pravidla musí být detailně popsána a jednoznačně definována, jinak nebude možné provést kvalitní optimalizaci a testování strategie. (6)

#### **3.3.2 Definování pravidel pomocí programovacího jazyka**

Potom, co je strategie jasně definovaná, je nutné veškeré myšlenky převést do programového kódu. K tomuto kroku bude pro účely této práce použit programovací jazyk EasyLanguage. Do skriptu je nutné zahrnout veškerá pravidla, vzorce a parametry strategie. EasyLanguage je objektově-orientovaný programovací jazyk, který byl vyvinut z již zastaralého programovacího jazyka Pascal. (6)

#### **3.3.3 Předběžné testování**

Dalším úkolem je předběžné testování, v tomto kroku proběhne ověření toho, co jsme provedli ve dvou předchozích. Výsledkem bude srovnání, zda je skript shodný s formulovanou strategií či nikoliv. Tedy dojdeme k ověření, jestli skript vstupuje, řídí pozici a vystupuje v předem stanovených úrovních. Dále zjistíme předběžnou profitabilitu a robustnost strategie. Robustností rozumíme schopnost strategie konzistentně generovat profit i ve stále se měnících tržních

podmínkách. Pokud strategii testujeme na jednom trhu s vysokou volatilitou a v silném býčím trendu, je zřejmé, že jsme do testu nezahrnuli veškeré tržní podmínky, které mohou nastat. A je pravděpodobné, že v dlouhodobém horizontu strategie nebude profitabilní.

Po testování dostaneme výsledek předběžného testu ve formě reportu. V reportu je nutné zkontrolovat uskutečněné obchody a ověřit, zda strategie vstupuje/vystupuje ve stanovených úrovních a jestli obchody proběhly korektně na základě definovaných pravidel. (6)

Pro předběžné testování je nutné mít k dispozici adekvátně dlouhé časové období historických dat. Obecně lze říci, že čím delší období historických dat máme k dispozici, tím lépe. Pět let historických dat je pro testování minimum, ideální cestou je alespoň 10 let dat rozdělených do segmentů. Segmenty rozumíme rozdělení celého období do několika menších celků, například desetiletou historii rozdělíme na jednotlivé roky. K tomuto rozdělení přistupujeme proto, aby bylo možné zhodnotit strategii z pohledu konzistentnosti dosažených výsledků. Strategie, která vygeneruje úctyhodný profit za období 10 let, může vypadat na první pohled lákavě, nicméně pokud nerozdělíme data do segmentů, mohou nám výsledky předběžného testu zakrýt velmi podstatnou informaci. Příkladem může být strategie, která za 10 let vygenerovala profit a výsledky vypadají excelentně, nicméně většinu svého profitu vygenerovala pouze ve 2 letech a ostatní roky byly ztrátové. (6)

### **3.3.4 Optimalizace strategie**

Optimalizace strategie si klade za cíl nalezení optimálních parametrů na základě optimalizačního kritéria zvaného také fitness function. Fitness function může představovat například minimalizaci drawdownu a zároveň maximalizaci profitu nebo pouze maximalizaci profitu, maximalizaci profit factoru a další.

Cílem každé strategie je samozřejmě co nejvyšší zisk, a zde se nabízí otázka, proč tedy nepoužít fitness function zahrnující pouze maximalizaci profitu? Tato fitness function se sice může zdát pro optimalizaci strategie nejvhodnější, nicméně má několik úskalí. Pomocí fitness function maximalizace profitu nalezneme strategii, která vygenerovala sice největší zisk, nicméně většinou to bude doprovázeno nepřiměřeně vysokým drawdownem. Výsledek může být zkreslený například nějakou neočekávanou událostí a pouze několika málo ziskovými obchody v těchto obdobích. Řekněme, že většinu profitu vytvořilo pouze malé procento ziskových obchodů doprovázených velkým množstvím ztrát ve zbytku celého testovaného období. Na základě této fitness function jen velmi obtížně nalezneme robustní strategii, protože výsledek může být zkreslen pouze několika málo ziskovými obchody a nezabývá se otázkou rizikovosti strategie. (6)

V podstatě jde o hledání ideálních kandidátů jednotlivých parametrů na základě optimalizačního kritéria (například můžeme optimalizovat klouzavý průměr, u kterého budeme hledat vhodnou časovou periodu). Při optimalizaci je nutné určit fitness function, adekvátně dlouhou historii dat, parametry a jejich meze. Platformy pro optimalizaci strategie dnes nabízí několik metod pro vyhledávání optimálních parametrů, jedním z řešení jsou například genetické algoritmy, neuronové sítě a další. (6)

### **3.3.5 Walk-Forward analýza**

WFA posuzuje funkčnost celé strategie z pohledu postoptimalizace neboli na out-of-sample datech. Testování na datech, které nebyly zahrnuty do optimalizace, je velmi spolehlivé řešení. WFA poskytuje informace o tom, jaký risk a profit lze očekávat v reálném obchodování a jak se strategie bude chovat ve stále se měnících podmínkách trhu. V neposlední řadě pomocí tohoto nástroje lze posoudit, kdy je vhodné automatickou strategii optimalizovat (pokud je to vůbec nutné). (6)

Walk-Forward analýzu lze rozdělit do několika testů, ve kterých proběhne vždy v první části optimalizace parametrů a poté budou optimalizované parametry aplikovány na out-of-sample data. V podstatě se jedná o finální, ale zároveň kritické zhodnocení, jestli strategie obstojí v reálném obchodování. Automatickou strategii, která nevykáže uspokojivé výsledky ve WFA, nelze použít v reálném obchodování. Informace o riziku a profitu získané z WFA jsou nadřazeny těm, které jsme zjistili v průběhu optimalizace. (6)

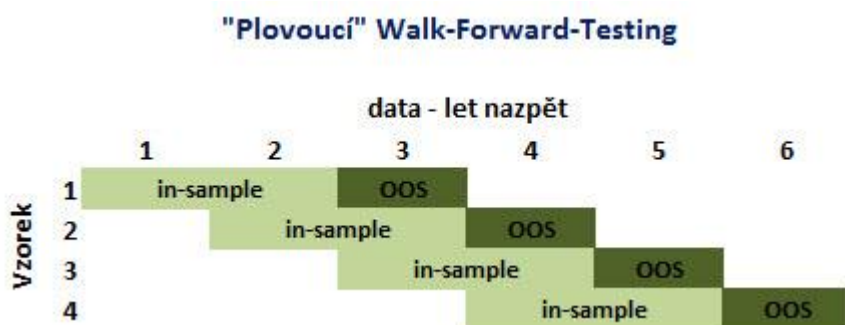
S tím souvisí i tzv. Walk-Forward Efficiency (WFE). Tento ukazatel porovnává míru dosaženého zisku na out-of-sample datech oproti zisku, který byl dosažen na in-sample datech (datech zahrnutých do optimalizace). Pokud WFE vykazuje například pouze 25%, tak strategie není robustní a pravděpodobně je pouze výsledkem overfittingu (přeoptimalizace). Dle průzkumů je vhodné posuzovat strategii jako robustní, pokud se WFE pohybuje alespoň kolem 50%- 60%.

Jedním z účelů WFA je také vyhnout se overfittingu neboli přeoptimalizaci. Overfitting nastává ve chvíli, kdy strategie vykazuje excelentní výsledky při optimalizaci, nicméně v reálném obchodování je nepoužitelná. Pokud naše strategie podléhá overfittingu, pravděpodobně došlo k chybě již v některých předchozích krocích vývoje automatické strategie a strategie se stává pouhou fikcí. Důvodem overfittingu může být například neustálé přidávání indikátorů apod. (6)

#### **3.3.5.1 Plovoucí WFA**

Jedná se o sérii obvyklých WFA, přičemž pracujeme s větším množstvím historických dat, na kterých testujeme v určitých rámcích (posunech). Pokud máme dostatečně velký vzorek vstupních

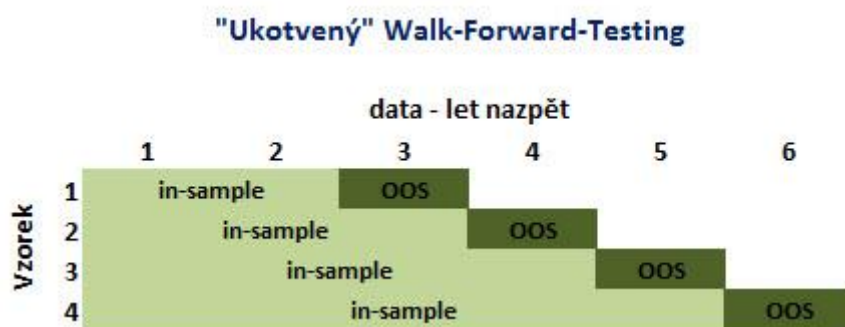
dat (například 6 let), potom můžeme každý rámec testovat na třech letech. Data je nutné rozdělit na dvě části: IS (in-sample) a OOS (out-of-sample). Na IS datech bude provedena optimalizace a získané hodnoty budou aplikovány na OOS data. IS data prvního rámce tvoří roky 1 a 2 a OOS data představuje rok 3. Další rámec je poté pouze o rok posunutý, IS data jsou roky 2 a 3 a OOS data je rok 4. A tak dále pokračujeme až do roku 6. (24)



Obrázek č. 6: Plovoucí WFA (Zdroj: (24))

### 3.3.5.2 Ukotvená WFA

Ukotvená Walk-Forward analýza je velmi podobná plovoucí, pouze s tím rozdílem, že neposouváme začátek rámce na následující rok, ale každý rámec začíná vždy v tom samém bodě, tedy v roku 1. V podstatě pouze měníme délku testovaných dat a hledáme optimální parametry, které poté opět musíme otestovat na OOS datech. (24)



Obrázek č. 7: Ukotvená WFA (Zdroj: (24))

### 3.3.5.3 Konkurenční WFA

Konkurenční Walk-Forward analýza je posledním a bezesporu nejefektivnějším způsobem testování. Jedná se o kombinaci plovoucí nebo ukotvené WFA s běžnou WFA. Nejprve provedeme buď plovoucí či ukotvenou WFA a nalezneme 4 řešení, poté všechny 4 řešení postupně podrobíme testování na 60- 80% celého období 6 let. A na závěr vybereme nejlepší

variantu a tu podrobíme OOS testu. Pokud OOS test vykazuje pozitivní výsledky, našli jsme robustní strategii. (24)

### 3.4 Breakout strategie

Tato práce se zabývá automatickým obchodováním především breakout strategií, což je jeden z nejstarších obchodních přístupů vůbec. Breakout strategie jsou založeny na průlomu určitých cenových úrovní. Pokud jsou tyto úrovně trhem prolomeny, poté nakupujeme nebo prodáváme zvolený instrument. Jinými slovy, strategie jsou založeny na předpokladu, že po prolomení breakout úrovně bude trh pokračovat v započatém směru a vygeneruje zisk. Strategie je možné sestavit pouze jako pár jednoduchých podmínek pro vstup a výstup, což jsou strategie na pár řádků jednoduchého kódu. Na druhou stranu je možné vyvíjet i složitější strategie, ale v tomto případě je nutné počítat s vyšší časovou náročností při testech robustnosti, které jsou velmi důležité pro úspěšné obchodování AOS. (23)

Hlavní myšlenkou breakout strategií je prostor a čas. Prostor je vzdálenost, ve které dochází k průlomu. Časové omezení znamená, že k průlomu musí dojít v určitém časovém horizontu. Pokud se nám podaří najít vhodné nastavení těchto dvou parametrů, máme základ breakout strategie. (23)



Obrázek č. 8: Breakout úrovně (zdroj: (23))

V grafu jsou vyznačeny dvě křivky, které představují breakout úrovně. Po průlomu zelené křivky nastává vstupní signál do long pozice. Pokud trh prolomí červenou křivku, vstupujeme do short pozice.

Velice důležitou částí jakéhokoliv obchodního plánu je stop-loss, v případě AOS se na stop-loss musíme podívat z trochu odlišného pohledu, než je tomu například u diskrečního obchodování. U diskrečního obchodování lze volit stop-lossy i ve velikosti desítek dolarů, nicméně u AOS nikoliv. Je nutné hned zpočátku počítat s většími stop-lossy na volatilnějších trzích. Stop-loss v případě AOS má trochu odlišný význam, jelikož je většinou zasažen pouze několikrát do roka. (23)

## **3.5 Softwarové vybavení**

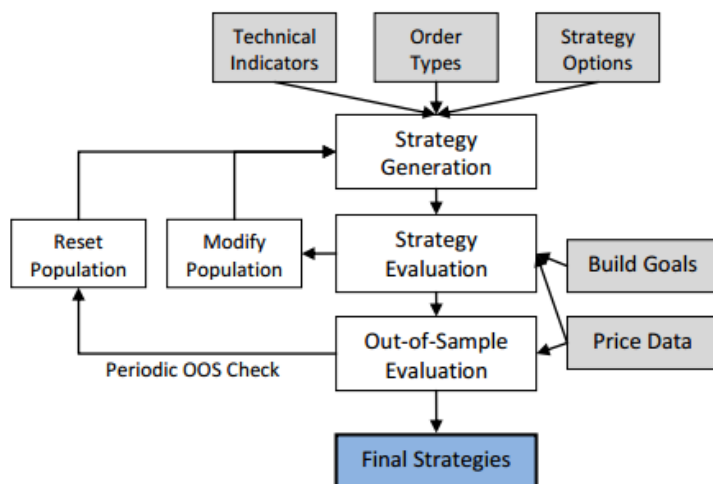
V této části mé diplomové práce se zaměřím na software potřebný k vývoji, optimalizaci a testování automatických obchodních systémů.

### **3.5.1 Adaptrade Builder**

Adaptrade Builder je program, který automaticky generuje strategie pro TradeStation, Multicharts a MetaTrader 4. Builder v podstatě nahrazuje ruční přístup k vývoji automatické strategie. Uživatel má možnost výběru z několika indikátorů, pravidel, cenových patternů, vstupních a výstupních příkazů. Builder funguje na principu genetických algoritmů a neuronových sítí, proto je nutné před spuštěním programu definovat další nastavení, jako jsou optimalizační kritéria, počet populací, počet generací a podobně. Na základě zvolených indikátorů, příkazů a metrik Builder poté hledá strategie.

Tradiční proces hledání vhodných strategií je většinou zdlouhavý a doprovázený mnohdy řešením „pokus x omyl“. Builder celý tento proces provádí automaticky a s ohromnou časovou úsporou.

Adaptrade Builder je schopný vyvíjet strategie téměř pro jakýkoliv trh a časový rámec. Vygenerovaný kód zahrnuje vstupní logiku, řízení pozice, výstupní pravidla, popřípadě i pravidla pro position sizing. Builder ukládá kód v textovém souboru, ze kterého již lze velmi jednoduše zkopírovat kód do obchodní platformy. (17)



Obrázek č. 9: Algoritmus hledání strategií (Zdroj: (17))

### 3.5.2 TradeStation

Společnost TradeStation je brokerskou společností poskytující zároveň vlastní platformu pro vývoj a testování automatických obchodních strategií. Platforma je vybavená všemi prvky potřebnými i pro diskréční, opční, akciové, forexové a futures obchodování. S TradeStation je možné tedy prakticky obchodovat téměř cokoli.

Klienti TradeStation mají většinu historických dat a platformu zdarma, pokud uskuteční alespoň 10 obchodů měsíčně nebo zobchodují za měsíc alespoň 5000 akcií. Dále TradeStation nabízí i pronájem platformy a zakoupení historických dat pro ostatní obchodníky, kteří nejsou klienty společnosti. Cena pronájmu platformy činí asi \$250/měsíc.

Optimalizaci a testování robustnosti lze provést pomocí unikátního nástroje zvaného WalkForward Optimizer. Následně je možné obchodovat vyvinuté strategie pomocí této platformy za velmi přijatelné komise. (20)

#### 3.5.2.1 WalkForward Optimizer (WFO)

Mnoho obchodních systémů selže v reálných trzích, protože jsou postaveny a testovány na stejných historických datech. WalkForward Optimizer je součástí platformy TradeStation a řeší tento problém Walk-Forward testy. Při těchto testech vytváří obrovské množství neviděných budoucností a tím simuluje nepředvídatelnost obchodování strategie v reálných tržních podmínkách.

Nejdůležitějším prvkem WFO je cluster analýza, zatímco jedna Walk-Forward analýza nám poskytuje pouze předběžný náhled na robustnost strategie, cluster analýza je finálním testem

robustnosti, jelikož provede obrovské množství Walk-Forward testů. Jako bonus získáme matici cluster analýzy, která poskytuje informace i o tom, jak často a na jak dlouhé historii dat strategii re-optimalizovat. Celý proces cluster analýzy je založen na testovaných kritériích:

- celková profitabilita
- robustness index
- konzistence profitů
- maximální drawdown (16)

**Walk-forward Overall result (Pass/Fail)**

OOS%	Runs					
	5	10	15	20	25	30
10	FAILED	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
15	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
20	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
25	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
30	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

**Obrázek č. 10: Cluster analýza (Zdroj: (16))**

Takto může vypadat výsledek cluster analýzy, v prvním řádku označeném „Runs“ jsou zobrazeny počty běhů (počet intervalů, na které byly rozděleny původní historická data). V prvním sloupci nalezneme informace o out-of-sample datech. Například pole o souřadnicích 5 a 10 znamená, že historická data byla rozdělena do pěti oddělených intervalů a v každém intervalu bylo analyzováno 10% dat jako out-of-sample. Pokud pole splňuje testované kritéria, obdrží status PASS, v opačném případě bude označeno FAILED. (16)

Cluster analýza nám poskytne reálnou představu o tom, zda má strategie potenciál vydělat peníze v budoucnosti a detekuje preoptimalizaci strategie. Pokud je strategie úspěšná pouze v jednom Walk-Forward testu, poté neprojde cluster analýzou. Dále získáme reálnou představu o tom, jaký profit a risk očekávat. Jelikož jsou optimalizované parametry aplikovány na mnoho neviděných budoucností, má cluster analýza vyšší statisticky vypovídající hodnotu. Další výhodou je bezesporu robustness index, pomocí kterého lze zjistit, jestli jsou výsledky získané na out-of-sample datech podobné těm z in-sample. (16)

### 3.5.3 Market Systém Analyzer (MSA)

MSA slouží k analyzování výsledků strategií, zahrnuje mnoho metod money managementu, především position sizingu. Market Systém Analyzer byl vytvořen k tomu, aby obchodníkovi pomáhal optimalizovat počet obchodovaných kontraktů v závislosti na velikosti účtu. Dále je



možné pomocí MSA odhalit strategie, které mají malou pravděpodobnost úspěchu v reálných trzích.

#### **3.5.3.1 Monte Carlo analýza**

MSA mimo jiné poskytuje i Monte Carlo simulaci, která zkoumá náhodné posloupnosti uskutečněných obchodů a tím poskytuje přesnější představu o tom, jaký drawdown můžeme v budoucnu očekávat. Na vstupu jsou uskutečněné obchody chronologicky seřazeny a Monte Carlo simulace provede množství náhodných uspořádání obchodů. Pro každé takovéto náhodné uspořádání je vypočítán největší drawdown a tento proces se opakuje 100x, nebo klidně i 1000x, vše záleží na nastavení. Po skončení simulace obchodník obdrží výsledný report, který obsahuje informace o maximální drawdownu s určitou mírou spolehlivosti. Výsledný report může například zobrazovat 95% míru spolehlivosti s drawdownem \$5000. Jinými slovy s 95% pravděpodobností nepřekročí budoucí drawdown hodnotu \$5000. (19)

## 4 Vlastní návrhy řešení

V této části práce se zaměřím na vytvoření pracovního workflow a poté již na samotný vývoj strategií včetně optimalizace a náročných testů robustnosti.

### 4.1 Workflow vývoje AOS

Pro systematickou práci při vývoji AOS je vhodné definovat pracovní workflow. Nejdříve je nutné formulovat vlastní nápady a myšlenky, tedy sepsat veškeré informace na „papír“. V dalším kroku naše nápady naprogramujeme pomocí jazyka EasyLanguage a nesmíme opomenout vizuální kontrolu jednotlivých obchodů přímo v grafu daného instrumentu. Při programování strategie jsme sice již zvolili některé parametry strategie, nicméně následně je nutné tyto parametry optimalizovat. A kritickou částí celého procesu je testování robustnosti navržených strategií.

#### 4.1.1 Formulace myšlenek

Při vývoji automatické obchodní strategie je nutné zpočátku formulovat vlastní myšlenky. Jedná se o prvotní stanovení jednotlivých parametrů strategie. V tomto ukázkovém případě se bude jednat o breakout strategii na trhu EMD a vstupními parametry tzv. inputs budou perioda CCI, perioda ATR, velikost stop-lossu, násobek ATR a časová perioda pro možný vstup.

Do long pozice budeme vstupovat na cenové úrovni, která bude vypočítána následovně: průměrné high předchozích třech úseček + násobek ATR \* ATR. Cenová úroveň neboli breakout do short pozice je definován jako: průměrné low předchozích třech úseček + násobek ATR \* ATR.

Před vstupem musí být splněny ještě dodatečné podmínky a filtry:

- denně lze vstoupit pouze do jednoho obchodu
- vstup se musí uskutečnit ve zvolené časové periodě
- při vstupu do long pozice musí být CCI nad hodnotou 0
- při vstupu do short pozice musí být CCI pod hodnotou 0

Výstup z pozice bude realizován vždy na konci obchodního dne a nelze opomenout ani ochranný stop-loss, který musí být vždy při vstupu do obchodu definován.

## 4.1.2 Programování v jazyku EasyLanguage

```
Inputs: CCI_period(10),
ATR_period (6),
SL (2000),
Multiple_of_ATR (2),
FirstEntryTm (1530),
LastEntryTm (1830);

Var: LongBreakout (0),
ShortBreakout (0),
CCI_filtr_Long(false),
CCI_filtr_Short(false),
TimeOK(false);

{ Entry prices }
LongBreakout = Average (H, 3) + Multiple_of_ATR * AvgTrueRange(ATR_period);
ShortBreakout = Average (L, 3) - Multiple_of_ATR * AvgTrueRange(ATR_period);

{ CCI conditions}
CCI_filtr_Long = CCI(CCI_period) > 0;
CCI_filtr_Short = CCI(CCI_period) < 0;

{ Time conditions}
TimeOK = Time >= FirstEntryTm and Time < LastEntryTm;

{ Entries }
If EntriesToday(Date) < 1 and TimeOK and CCI_filtr_Long then begin Buy next bar at LongBreakout stop;
end;

If EntriesToday(Date) < 1 and TimeOK and CCI_filtr_Short then begin Sellshort next bar at ShortBreakout stop;
end;

{ Stop-loss }
Setstoploss (SL);

{ End-of-Day Exit }
SetExitOnClose;
```

Obrázek č. 11: EasyLanguage-kód (Zdroj: vlastní)

V tomto kroku jsem veškeré zformulované myšlenky z předchozího bodu naprogramoval v jazyku EasyLanguage. Nejdříve jsem zvolil Inputs neboli vstupy a poté proměnné (Var). V části Entry prices jsou definovány vstupní úrovně pro long i short pozice. CCI conditions představují doplňující filtry a Time conditions je časové ohraničení pro vstup do obchodu. Entries jsou již konkrétní vstupní příkazy, které jsou aktivovány v případě, že jsou splněny všechny podmínky. Na závěr je nutné určit i výstupy, strategie bude vystupovat až na konci obchodního dne, pokud v průběhu obchodu neskončí na stanoveném stop-lossu.

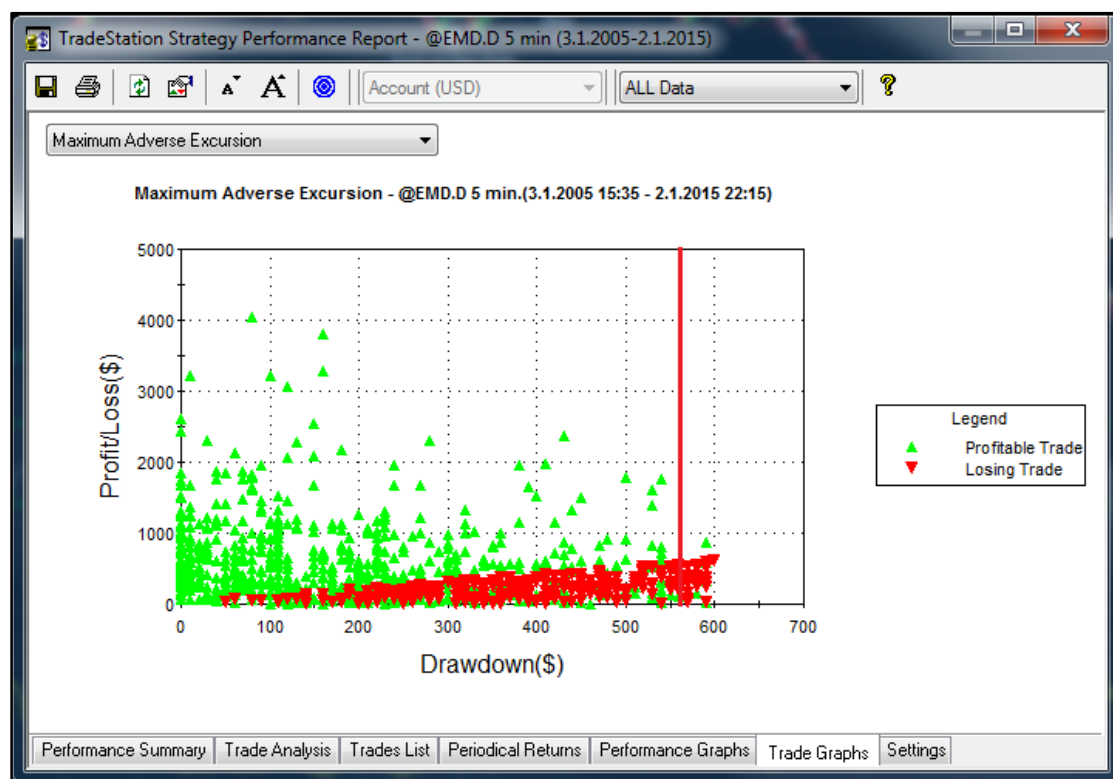
### 4.1.3 Vizuální kontrola grafu



Obrázek č. 12: Graf trhu EMD (Zdroj: vlastní)

Naprogramovanou strategii vložíme do grafu trhu EMD a vizuálně zkontrolujeme, zda strategie vstupuje a vystupuje v požadovaných cenových úrovních. Do grafu jsem si zobrazil také indikátor CCI a ATR, abych si mohl ověřit korektnost naprogramované strategie.

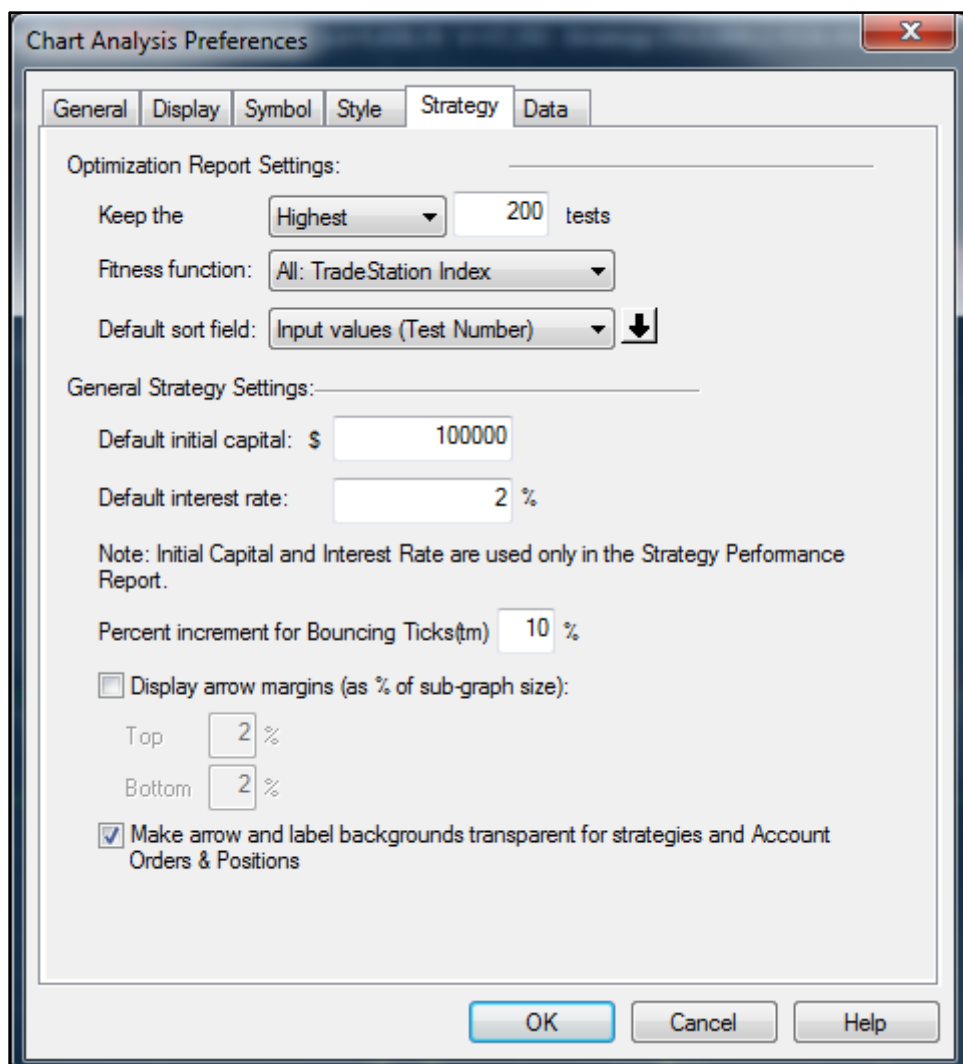
### 4.1.4 Nalezení stop-lossu



Obrázek č. 13: Maximum Adverse Excursion (Zdroj: vlastní)

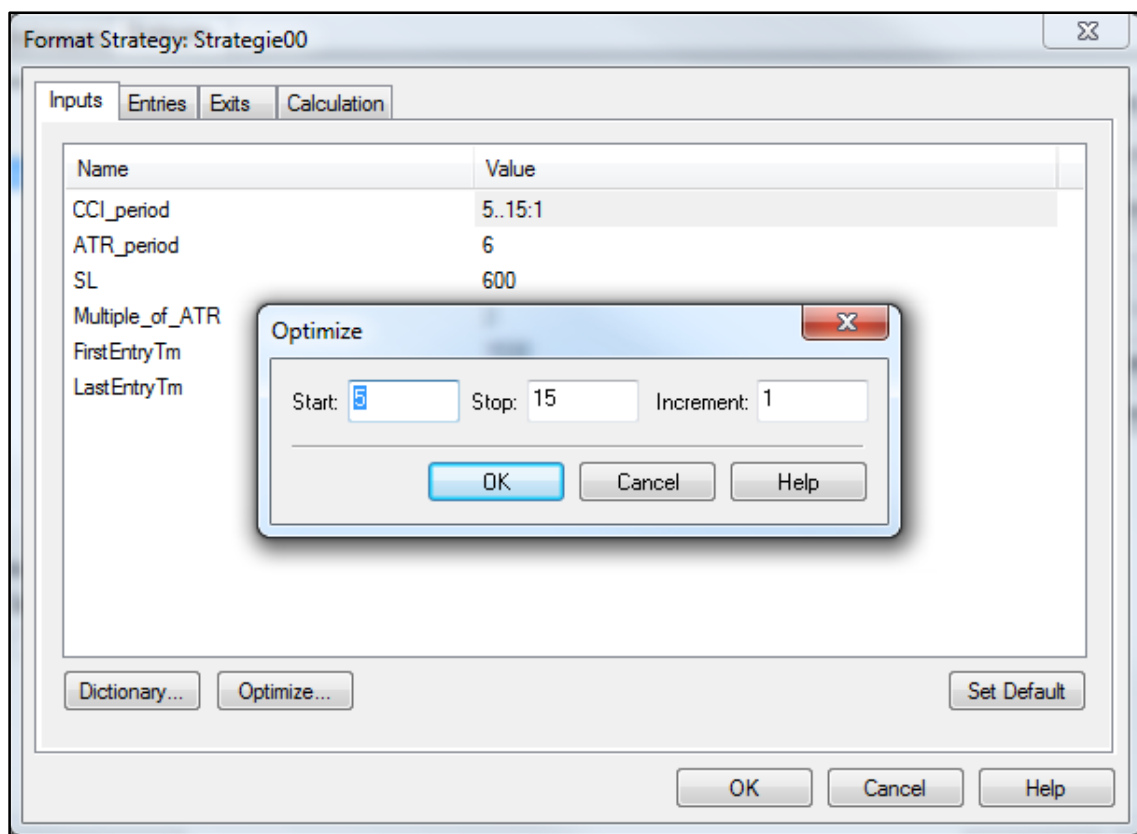
Stop-loss je možné volit dvěma způsoby. V TradeStation si lze zobrazit graf Maximum Adverse Excursion a zvolit vhodnou velikost stop-lossu. V grafu lze vidět maximální hodnoty, které byly dosaženy v průběhu jednotlivých obchodů. Červené trojúhelníky představují nejvyšší ztrátu a zelené nejvyšší zisk. Na uvedeném grafu vidíme, že pro většinu ziskových obchodů by stačil stop-loss o velikosti \$550- \$600. Další možností nalezení vhodného stop-lossu je samozřejmě i optimalizace, popřípadě lze obě metody kombinovat.

#### 4.1.5 Optimalizace parametrů



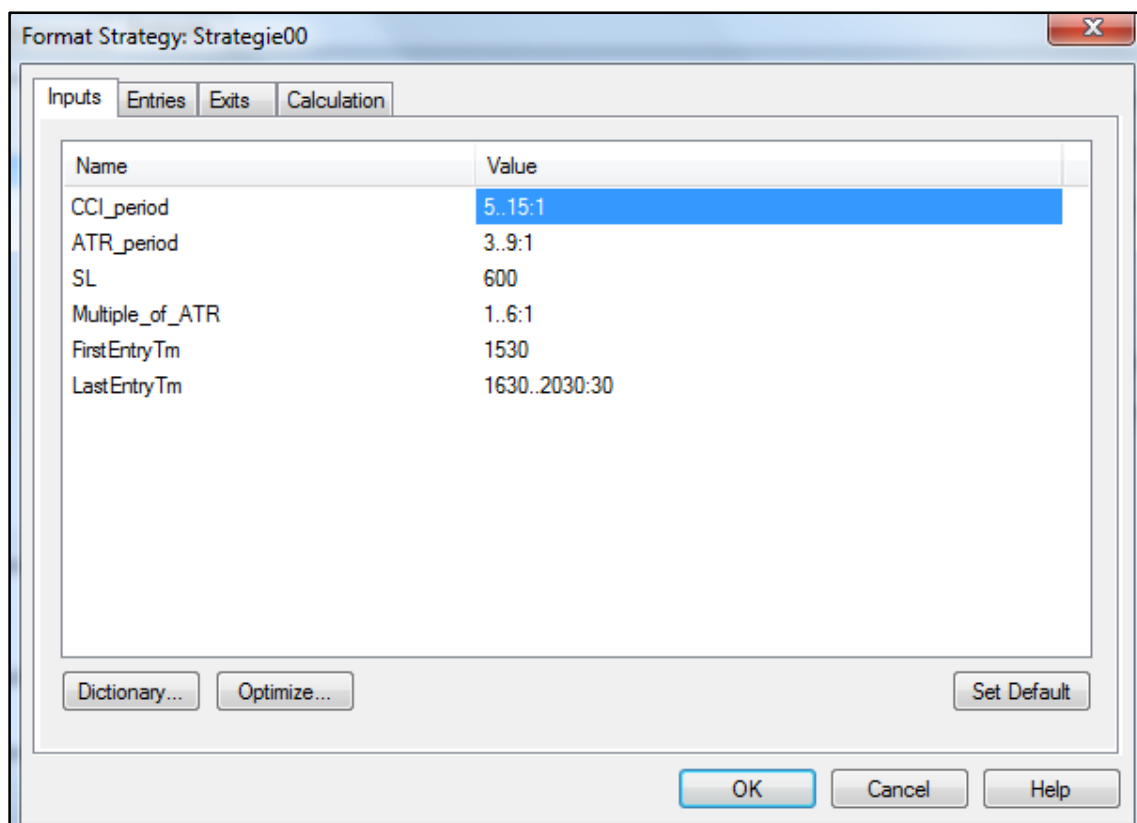
Obrázek č. 14: Nastavení Fitness function (Zdroj: vlastní)

Před samotnou optimalizací je vhodné zvolit Fitness function v Chart Analysis Preference. Zvolil jsem funkci TradeStation Index, která zohledňuje maximální profit a zároveň maximální drawdown.



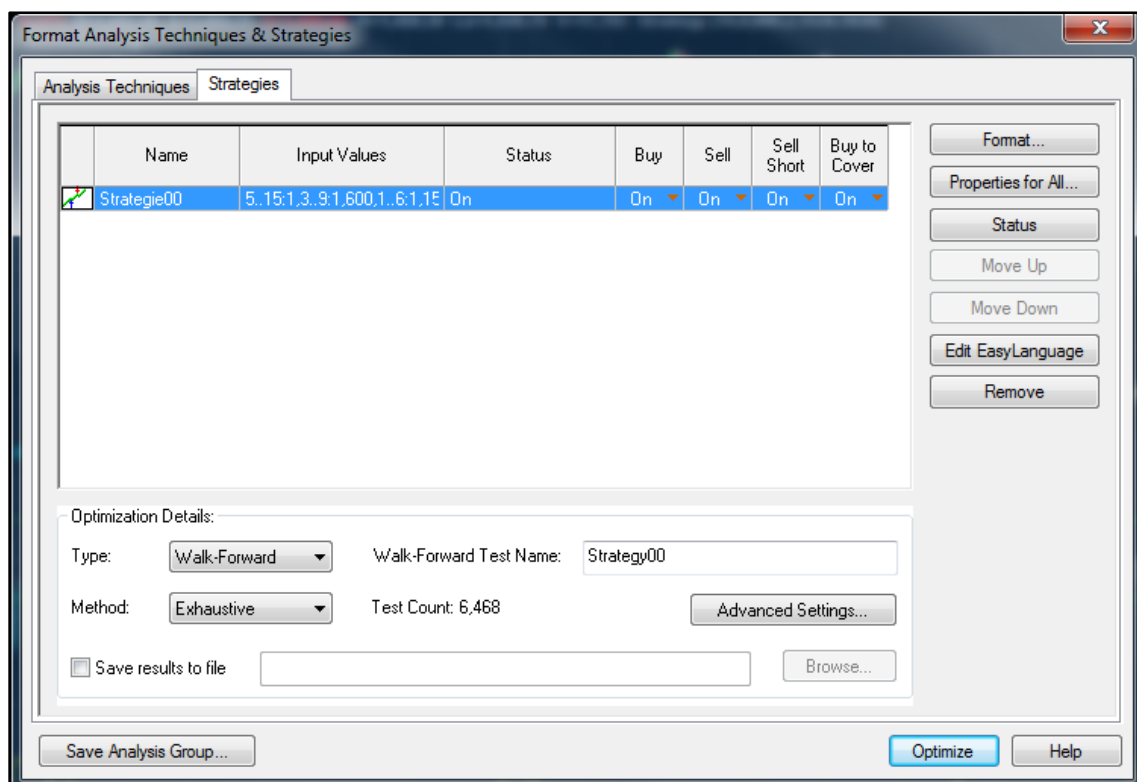
**Obrázek č. 15: Nastavení rozmezí zvolených parametrů (Zdroj: vlastní)**

Parametry strategie je vhodné optimalizovat, v našem případě budeme optimalizovat maximálně 6 zvolených vstupů. Po kliknutí na tlačítko Optimize můžeme nastavit rozmezí pro optimalizaci. Ve výše uvedeném případě vidíme, že perioda CCI bude optimalizována v rozmezí od 5 do 15 po kroku 1. Toto nastavení provedeme pro ostatní (lze vybrat pouze některé) parametry.



**Obrázek č. 16: Výsledné nastavení optimalizace zvolených parametrů (Zdroj: vlastní)**

Nastavil jsem rozmezí optimalizovaných hodnot, optimalizace bude provedena na parametrech CCI\_period, ATR\_period, Multiple\_of\_ATR a LastEntryTm. Další vstupní hodnoty zůstanou v průběhu optimalizace konstantní.



Obrázek č. 17: Výběr metody a typu optimalizace (Zdroj: vlastní)

Nyní již máme navolené optimalizované hodnoty a jejich hranice, následně je nutné vybrat z menu Type Walk-Forward (potřebujeme Walk-Forward test pro následnou cluster analýzu) a z menu Method vybereme buď Exhaustive nebo Genetic (Genetická optimalizace je vhodná především, když máme velké množství kombinací jednotlivých parametrů). Vyplníme Walk-Forward Test Name a spustíme optimalizaci pomocí tlačítka Optimize.

TradeStation Strategy Inputs	
Description	Value
Strategie00 - CCI_period	13
Strategie00 - ATR_period	7
Strategie00 - SL	600
Strategie00 - Multiple_of_ATR	2
Strategie00 - FirstEntryTm	1530
Strategie00 - LastEntryTm	2020

Obrázek č. 18: Výsledné parametry optimalizace (Zdroj: vlastní)

Optimizer navrhnul výše uvedené optimální hodnoty a nyní zkontrolujeme equity křivku dané strategie.





**Obrázek č. 19: Equity křivka testované strategie (Zdroj: vlastní)**

Total Net Profit: \$74370

Profit Factor: 1,17

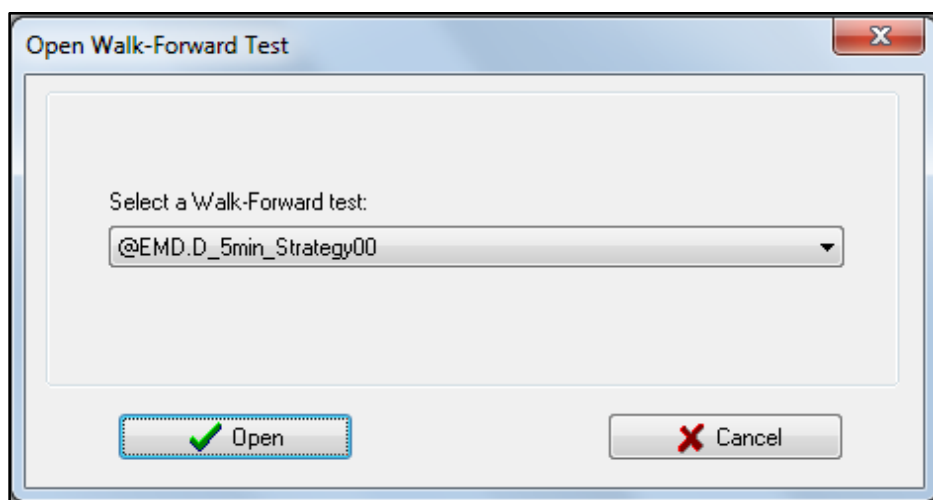
Total Number of Trades: 1982

Avg Trade Profit: \$37,52

Max Drawdown: \$15150

Z grafu je patrné, že equity křivka dané strategie je rostoucí a za 10 letou historii by vydělala \$74370. I přesto, že strategie vydělává peníze, je nutné přistoupit ještě k finálnímu testu robustnosti pomocí cluster analýzy.

#### 4.1.6 Cluster analýza



**Obrázek č. 20: Výběr Walk-Forward testu pro cluster analýzu (Zdroj: vlastní)**

Ve Walk-Forward Optimizeru si otevřeme Walk-Forward test, který jsme vytvořili v předchozím testu při optimalizaci. Nejdříve je nutné nastavit testovaná kritéria, pole dostane status PASS, pokud budou splněny všechny z těchto 4 kritérií:

1. Profit všech OOS běhů musí být větší než \$0
2. Robustness Index musí být větší než 60%
3. Více než 70% všech OOS běhů musí být ziskových
4. Každý OOS běh nesmí mít drawdown větší než 25% počátečního kapitálu

Obrázek č. 21: Nastavení testovaných kritérií (Zdroj: vlastní)

Tab. č. 1: Výsledek cluster analýzy (Zdroj: vlastní)

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	FAILED	PASS	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED
15	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED
20	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED
25	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED
30	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED

Tato tabulka demonstruje výsledek cluster analýzy. Jak je na první pohled patrné, testovaná strategie nesplnila kritéria cluster analýzy. Abychom mohli hovořit o strategii, která prošla cluster analýzou, tak v některém z clusterů (matice o velikosti 3x3) musí alespoň 5-6 polí obdržet status PASS.

#### 4.1.7 Multi-market a multi-timeframe analýza

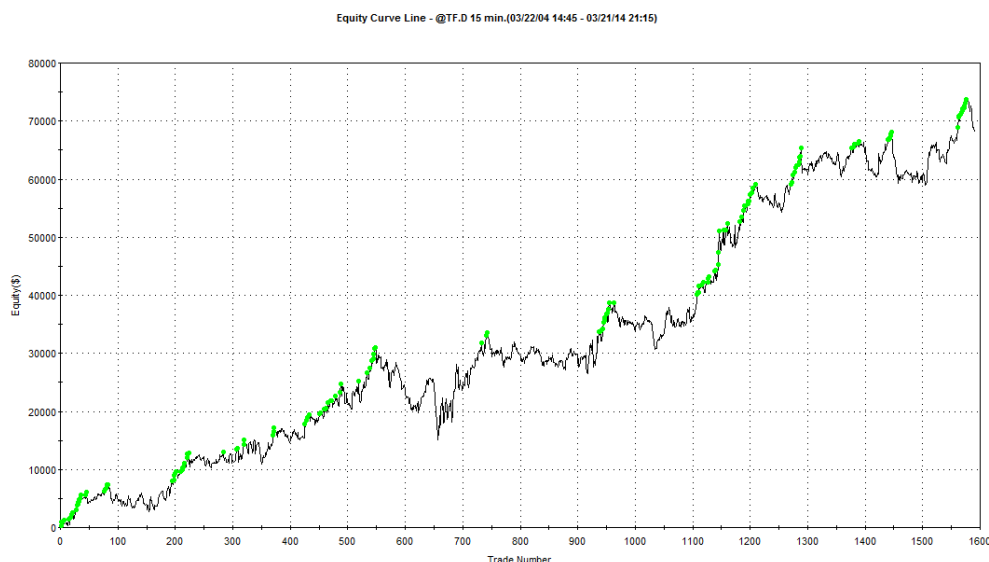
Posledním testem robustnosti je multi-market a multi-timeframe analýza. V tomto kroku již pouze výslednou strategii s optimalizovanými parametry otestujeme i na jiných trzích a časových rámcích. V rámci této diplomové práce bude provedeno testování na dalších e-mini trzích a časových rámcích 15 a 30 minut.

### 4.2 Strategie č. 1

Strategie č. 1 je založena na breakout úrovních, které se dynamicky mění na základě volatility v trzích. Strategii jsem vytvářel na trhu Emini Russel 2000 (TF) na 15minutovém grafu a testoval jsem historii 10 let nazpět.

#### 4.2.1 Nalezení breakout úrovně

V TradeStation jsem optimalizoval hodnoty ATR a také násobek ATR, které představují prostor. Dále byly optimalizovány i časové podmínky. Testování bylo provedeno bez stop-lossu a také bez profit targetu, výstup je realizován vždy na konci dne.



Obrázek č. 22: Equity křivka po stanovení breakout úrovně (Zdroj: vlastní)

Total Net Profit: \$68060

Profit Factor: 1,18

Total Number of Trades: 1680

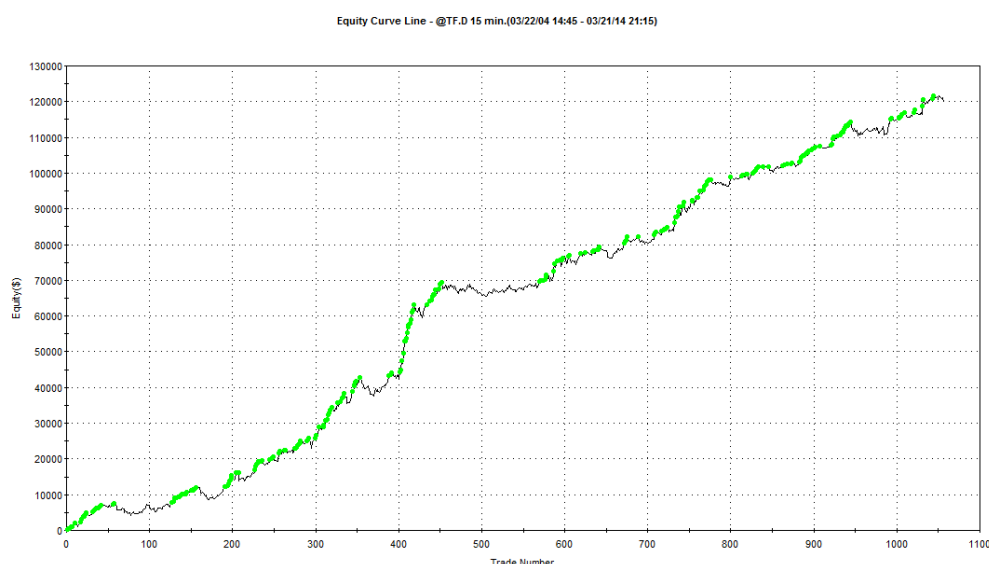
Avg Trade Profit: \$42,81

Max Drawdown: \$11500

Equity křivka sice roste, ale je vykazuje nepřiměřený drawdown. Dále do strategie přidám filtry, které nám pravděpodobně zajistí uspokojivější výsledky.

#### 4.2.2 Optimalizace filtrů

V dalším kroku byly do strategie implementovány filtry- indikátory. Nutno podotknout, že v grafu vždy 30% posledních dat představuje OOS data, tedy data, na které jsou již nalezené hodnoty pouze aplikovány a nebyla na nich provedena optimalizace.



**Obrázek č. 23: Equity křivka po optimalizaci (Zdroj: vlastní)**

Total Net Profit: \$120190

Profit Factor: 1,74

Total Number of Trades: 1056

Avg Trade Profit: \$113,82

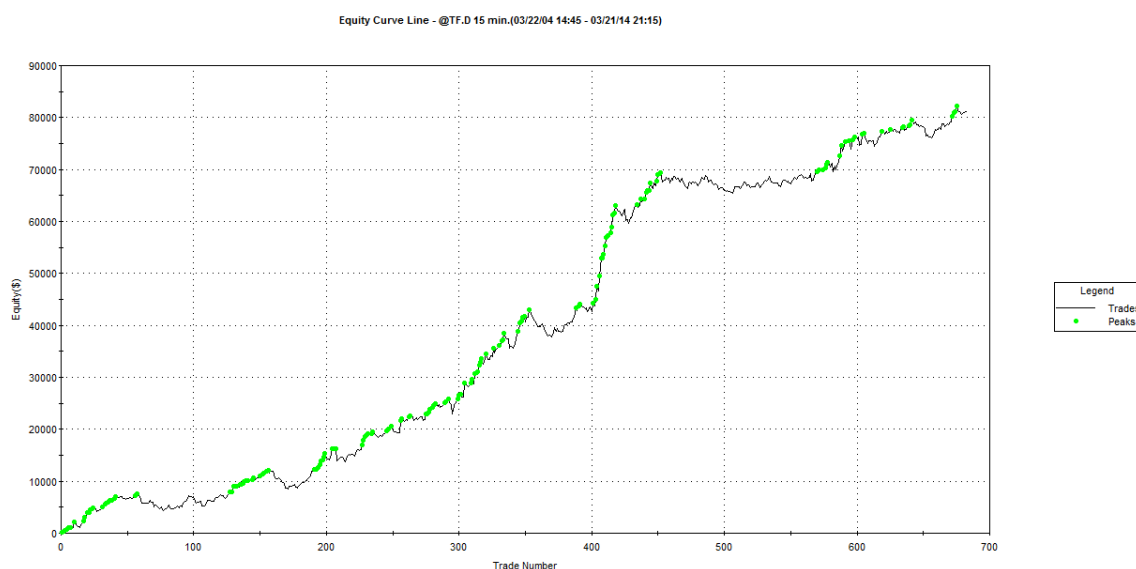
Max Drawdown: \$5210

Oproti předchozí equity křivce jsme dospěli k výraznému zlepšení, vzrostl Total Net Profit, Profit Factor, Avg Trade Profit a zároveň poklesl Max Drawdown o více než polovinu. V následující tabulce zkontrolujeme stabilitu v průběhu let. Vidíme, že za posledních 10 let by strategie vydělala v každém roce, což lze považovat za uspokojivý výsledek.

Tab. č. 2: Distribuce zisků a ztrát Strategie č. 1 (Zdroj: vlastní)

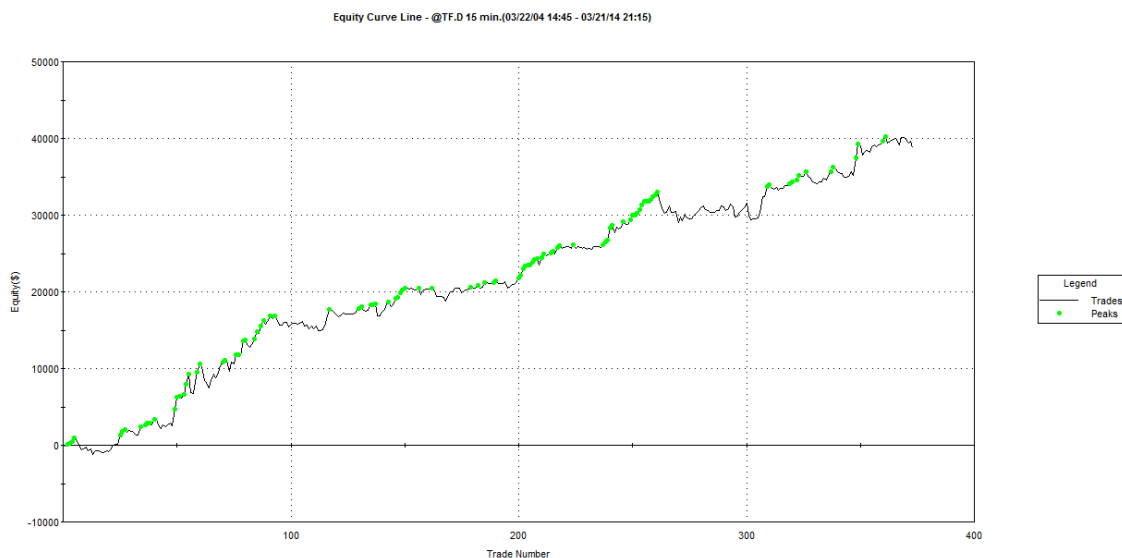
**Mark-To-Market Period Analysis:**

Period	Net Profit	% Gain	Profit Factor	# Trades	% Profitable
Last 12 month	\$9,630.00	4.97%	1.37	139	57.55%
1/1/2014	\$1,720.00	0.85%	1.22	35	48.57%
1/1/2013	\$9,360.00	4.87%	1.46	129	60.47%
1/1/2012	\$8,340.00	4.53%	1.61	116	60.34%
1/1/2011	\$18,240.00	11.00%	1.84	127	54.33%
1/1/2010	\$10,850.00	7.00%	1.57	105	59.05%
1/1/2009	\$5,820.00	3.90%	1.24	123	52.85%
1/1/2008	\$16,190.00	12.18%	1.63	91	54.95%
1/1/2007	\$15,350.00	13.06%	1.98	89	60.67%
1/1/2006	\$9,120.00	8.41%	2.07	79	64.56%
1/1/2005	\$5,880.00	5.73%	1.73	84	59.52%
1/1/2004	\$2,570.00	2.57%	1.26	78	62.82%



Obrázek č. 24: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 1 (in-sample) (Zdroj: vlastní)

Na výše uvedeném obrázku je zobrazena equity křivka in-sample dat. Na in-sample datech byla provedena optimalizace, tedy na 70% všech dat jsme nejdříve provedli optimalizaci a našli optimální parametry. Poté byly tyto optimální parametry aplikovány na 30% zbylých dat a equity křivka pro out-of-sample data je zobrazena v následujícím grafu. Konkrétně jsem optimalizoval hodnoty na 7 letech a na další 3 roky historických dat jsem aplikoval nalezené optimální parametry.

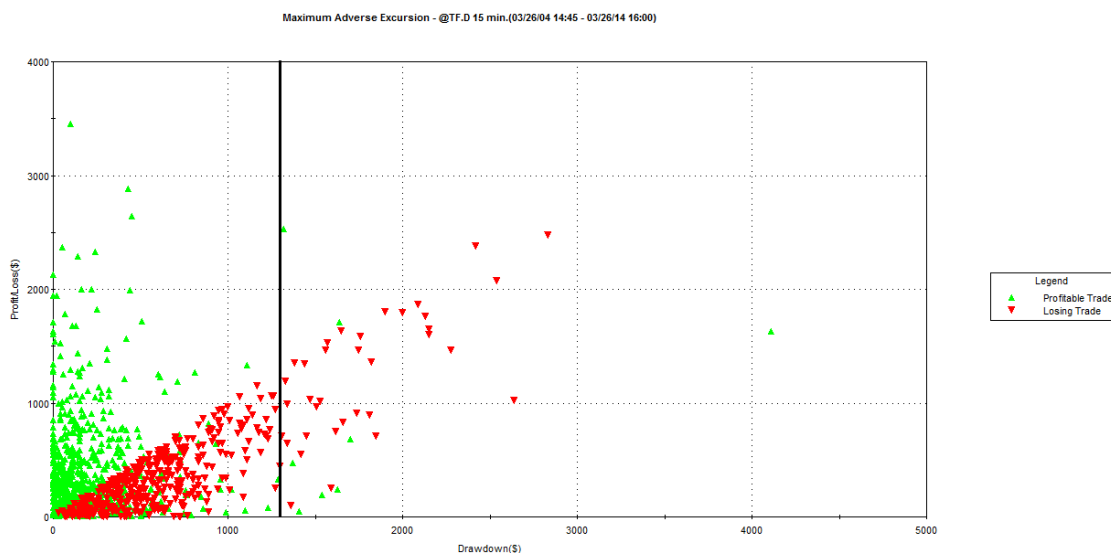


**Obrázek č. 25: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 1 (out-of-sample) (Zdroj: vlastní)**

Equity křivka out-of-sample dat má podobnou rostoucí tendenci jako equity in-sample dat, což je jeden z prvotních testů robustnosti.

#### 4.2.3 Nastavení stop-lossu

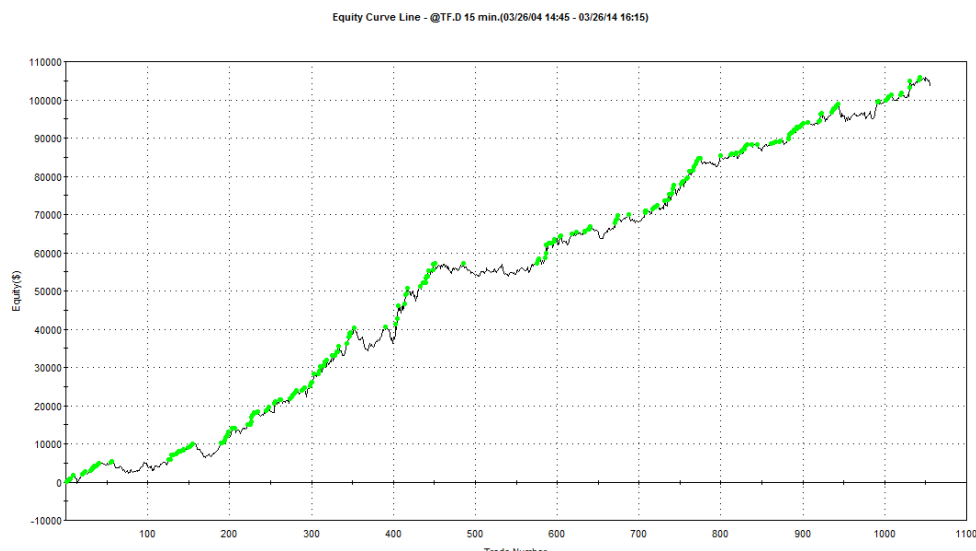
Pro nalezení vhodného stop-lossu jsem si v TradeStation vygeneroval report, ve kterém jsem si zobrazil graf Maximum Adverse Excursion.



**Obrázek č. 26: Maximum Adverse Excursion (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)**

Nejprve jsem si zobrazil graf Maximum Adverse Excursion a zjistil jsem, že pro většinu ziskových obchodů by stačil stop-loss o velikosti cca \$1400. Dále jsem provedl i optimalizaci stop-lossu pomocí TradeStation, porovnal jsem výsledky optimalizace s MAE grafem a vyznačil

jsem čáru na úrovni cca \$1350- \$1400, což je zvolený stop-loss. Nutno podotknout, že bezesporu nejlepší výsledky vykazuje strategie bez jakéhokoliv stop-lossu, nicméně v tak nejistém prostředí jako jsou finanční trhy bez stop-lossu nelze obchodovat.



**Obrázek č. 27: Equity křivka po aplikaci stop-lossu (Zdroj: vlastní)**

Total Net Profit: \$103440

Profit Factor: 1,59

Total Number of Trades: 1056

Avg Trade Profit: \$97,95

Max Drawdown: \$6010

#### 4.2.4 Cluster analýza

**Tab. č. 3: Výsledek cluster analýzy (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)**

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
15	PASS	PASS	PASS	FAILED	PASS	PASS
20	PASS	PASS	PASS	FAILED	PASS	PASS
25	PASS	FAILED	FAILED	PASS	FAILED	PASS
30	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	FAILED

Uvedená tabulka představuje výsledky cluster analýzy, přičemž počáteční kapitál byl nastaven na hodnotu \$25000. Všechny pole v zeleném clusteru obdrželi status PASS, což je velmi dobrý výsledek a v tuto chvíli již můžeme konstatovat, že Strategie č. 1 je velmi robustní. Nalezli jsme středový cluster, který má souřadnice 10 a 15, tedy 10 běhů a každý běh je tvořen z 85% IS daty a z 15% OOS daty.

**Tab. č. 4: Časový interval nutný pro re-optimalizaci (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)**

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	244	178	141	117	99	86
15	318	215	165	133	110	95
20	376	242	179	142	116	100
25	423	260	189	148	121	104
30	462	275	196	152	124	104

Další tabulka je také součástí cluster analýzy a slouží k tomu, aby byl obchodník schopný zjistit, za jak dlouho je potřeba strategii opět optimalizovat. Jedná se o nalezení tzv. re-optimalizačního intervalu. V případě této strategie využijeme opět hodnotu ze zvoleného středového clusteru, tedy hodnotu 215. Po 215 dnech je nutné strategii opět re-optimalizovat.

**Tab. č. 5: Počet dnů vhodných pro re-optimalizaci (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)**

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	2,174	1,601	1,268	1,049	895	780
15	1,796	1,223	927	746	625	537
20	1,502	966	712	563	466	398
25	1,268	780	563	441	362	308
30	1,076	640	455	354	288	244

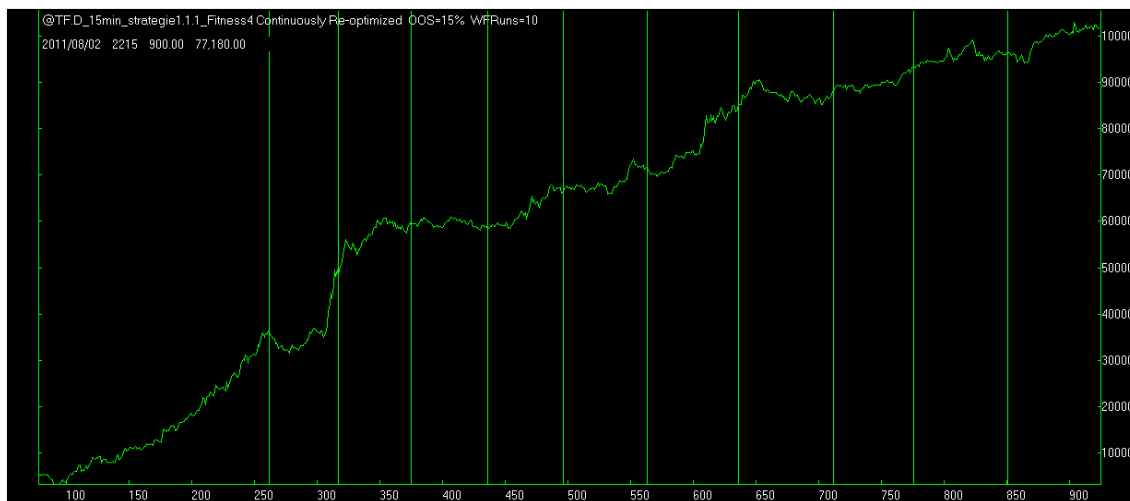
Další tabulka je nutná také pro re-optimalizaci, jedná se o počet IS dnů a opět budeme brát v úvahu hodnotu ze středového clusteru. Jak už jsme zjistili výše, strategii je nutné optimalizovat po 215 dnech a optimalizaci provedeme na 1223 dnech nazpět.



**Tab. č. 6: Performance Summary (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)**

	Performance Summary			2004/12/15 - 2014/03/18		
	Total Net Profit	\$101,980.00				
	Gross Profit	\$254,590.00		Gross Loss	\$-152,610.00	
	Total # of trades	924		Percent profitable	59.85%	
	Number winning trades	553		Number losing trades	371	
	Largest winning trade	\$3,450.00		Largest losing trade	\$-1,350.00	
	Average winning trade	\$460.38		Average losing trade	\$-411.35	
	Ratio avg win/avg loss	\$1.12		Avg trade (win & loss)	\$110.37	
	Median trade	\$80.00		Std.Deviation	\$624.65	
	Max consec. winners	11		Max consec. losers	7	
	Avg # bars in winners	16		Avg # bars in losers	15	
	Max intraday drawdown	\$-5,340.00		Profit Factor	1.67	
	Max intraday drawdown %	21.36%		Return on Initial Capital	407.92%	
Note	Drawdown % based on Initial capital					

Výše uvedený report již obsahuje výsledky ze všech 10 OOS běhů, za 10 let bychom uskutečnili celkem 924 obchodů s celkovým profitem \$101980.



**Obrázek č. 28: Equity křivka jednotlivých OOS běhů (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)**

Na závěr přikládám ještě equity křivku, která je rozdělená na jednotlivé OOS běhy. Křivka stabilně roste, tvoří nové high a tím dokládá celkovou robustnost strategie.

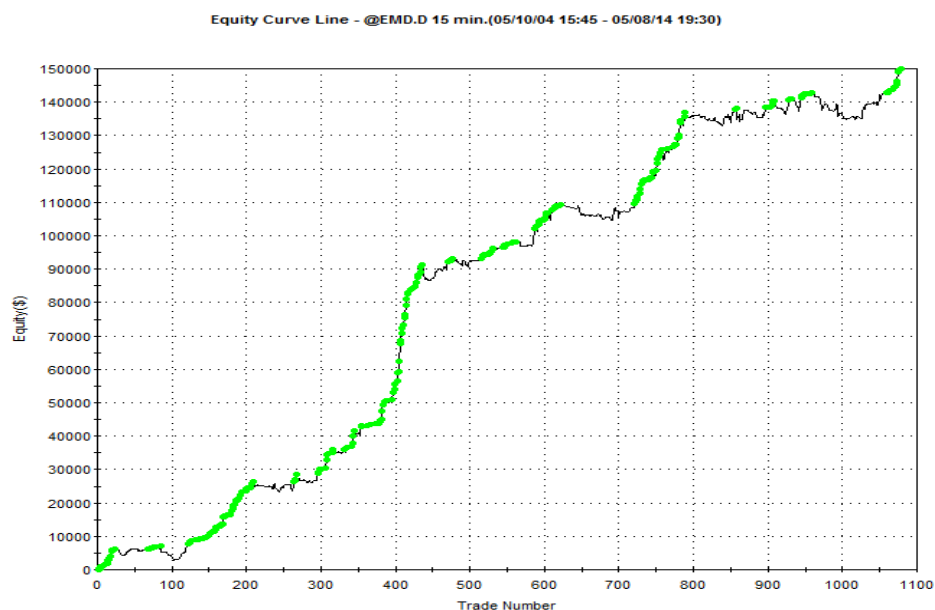
#### 4.2.5 Multi-market a multi-timeframe analýza

Tab. č. 7: Multi-market a multi-timeframe analýza (Strategie č. 1) (Zdroj: vlastní)

Symbol	Název	Timeframe	Období	Zisk/Ztráta
TF	E-mini Russell 2000	15 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$101,980
EMD	E-mini S&P MidCap 400	15 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$66,740
NQ	E-mini NASDAQ-100	15 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$14,595
ES	E-mini S&P 500	15 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$50,912
TF	E-mini Russell 2000	30 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$32,260
EMD	E-mini S&P MidCap 400	30 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$43,440
NQ	E-mini NASDAQ-100	30 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$7,810
ES	E-mini S&P 500	30 min.	29.3.2004-16.3.2014	\$23,350

Jako poslední jsem provedl multi-market a multi-timeframe analýzu na dalších indexech. Z tabulky je zřejmé, že strategie byla na všech uvedených indexech vždy v kladných číslech. Provedl jsem tedy poslední test, Strategie č. 1 je velmi robustní a s velkou pravděpodobností bude fungovat i v budoucnu. Nyní budou následovat 2- 3 měsíce papertradingu a pokud i v papertradingu bude tato strategie dosahovat uspokojivých výsledků, bude možné ji nasadit na živý obchodní účet.

## 4.3 Strategie č. 2



Obrázek č. 29: Equity křivka Strategie č. 2 (Zdroj: vlastní)

Total Net Profit: \$149400

Profit Factor: 2,16

Total Number of Trades: 1081

Avg Trade Profit: \$138,21

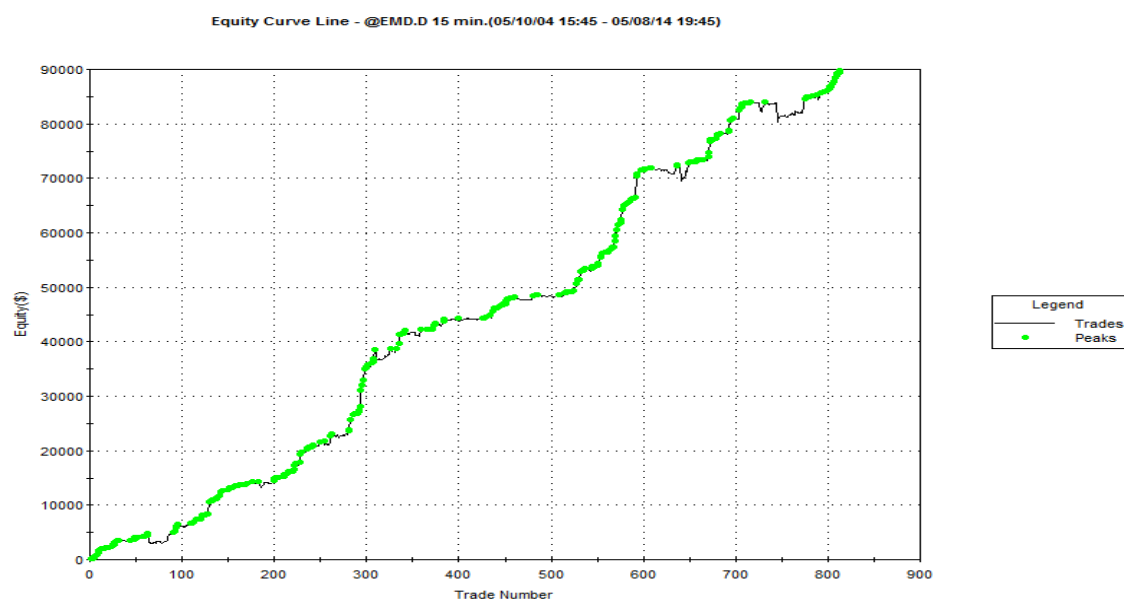
Max Drawdown: \$7930

Tuto strategii jsem sestavil v programu Adaptrade Builder a poté jsem již opět testoval v TradeStation. Strategie je primárně určena pro trh E-mini S&P MidCap 400 (EMD), jedná se o 15minutový graf a testování jsem provedl na historii 10 let.

### 4.3.1 Úprava kódu v TradeStation

Kód z Adaptrade Builderu jsem přenesl do TradeStation a po nahlédnutí do performance reportu bylo nutné udělat patřičné změny. I přesto, že obchody na stranu short vygenerovaly profit, tak zvyšovaly drawdown a snižovaly profit factor. Po prostudování performance reportu jsem tedy došel k závěru, že strategii je vhodné obchodovat především na stranu long.

### 4.3.2 Strategie pouze na stranu long



Obrázek č. 30: Equity křivka Strategie č. 2 pouze na stranu long (Zdroj: vlastní)

Total Net Profit= \$89600

Profit Factor= 3,11

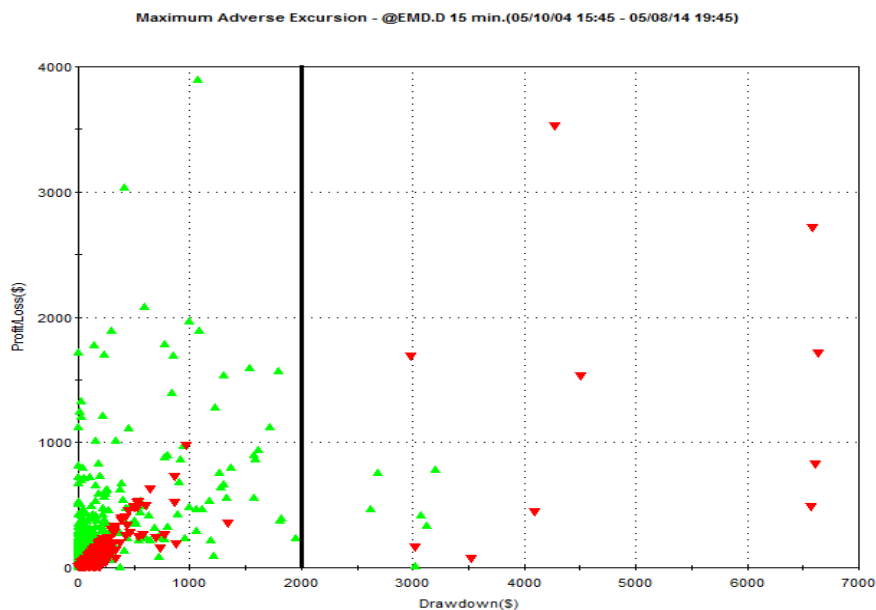
Total Number of Trades= 814

Avg Trade Profit= \$110,07

Max Drawdown= \$3730

Po omezení obchodování pouze na stranu long jsem získal stabilnější equity a většina parametrů strategie se zlepšila.

### 4.3.3 Nastavení stop-lossu

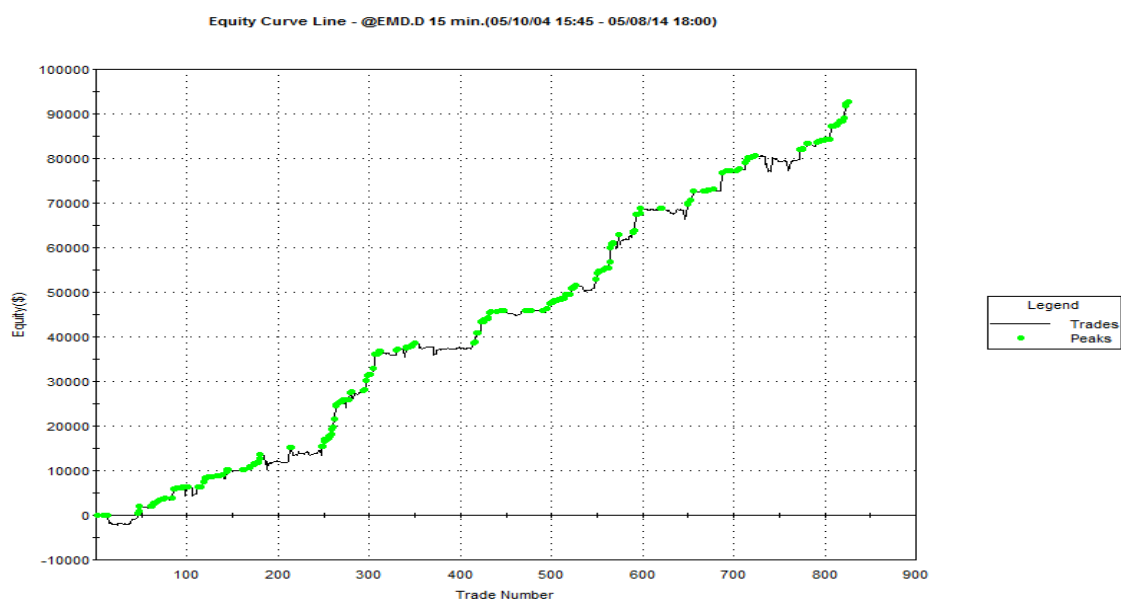


Obrázek č. 31: Maximum Adverse Excursion (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)

Z grafu Maximum Adverse Excursion je zřejmé, že většina ziskových obchodů by byla realizována se stop-lossem \$1500- \$2000. Nutno podotknout, že pro tuto strategii nebude definován pevný stop-loss na této úrovni, nicméně stop-loss bude další proměnou celé strategie. Při optimalizaci vstupních parametrů a filtrů je nutné optimalizovat také velikost stop-lossu.

### 4.3.4 Optimalizace parametrů

V tomto kroku provedu optimalizaci většiny proměnných v kódu strategie. Již z Adaptrade Builderu jsem získal vhodné hodnoty parametrů, nicméně tento krok nelze přeskočit, protože Walk-Forward analýza v TradeStation slouží jako podklad pro cluster analýzu (cluster analýzu nelze spustit bez předchozího WFA testu). Dále mi Adaptrade Builder neposkytl informace o velikosti pevného stop-lossu, který musí být z bezpečnostních důvodů do strategie zakomponován.



Obrázek č. 32: Equity křivka Strategie č. 2 po optimalizaci (Zdroj: vlastní)

Total Net Profit: \$92580

Profit Factor: 2,49

Total Number of Trades: 827

Avg Trade Profit: \$111,95

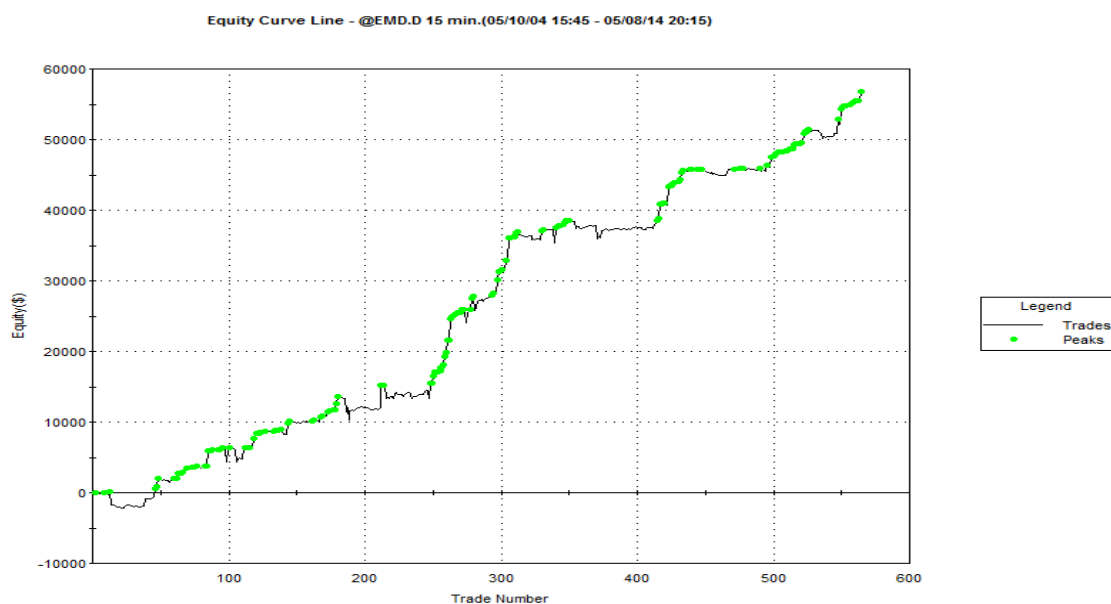
Max Drawdown: \$3620

Proběhla Walk-Forward analýza zahrnující i optimalizaci stop-lossu. Nyní již máme hotovou strategii připravenou pro další testování (cluster analýzu).

Tab. č. 8: Distribuce zisků a ztrát Strategie č. 2 (Zdroj: vlastní)

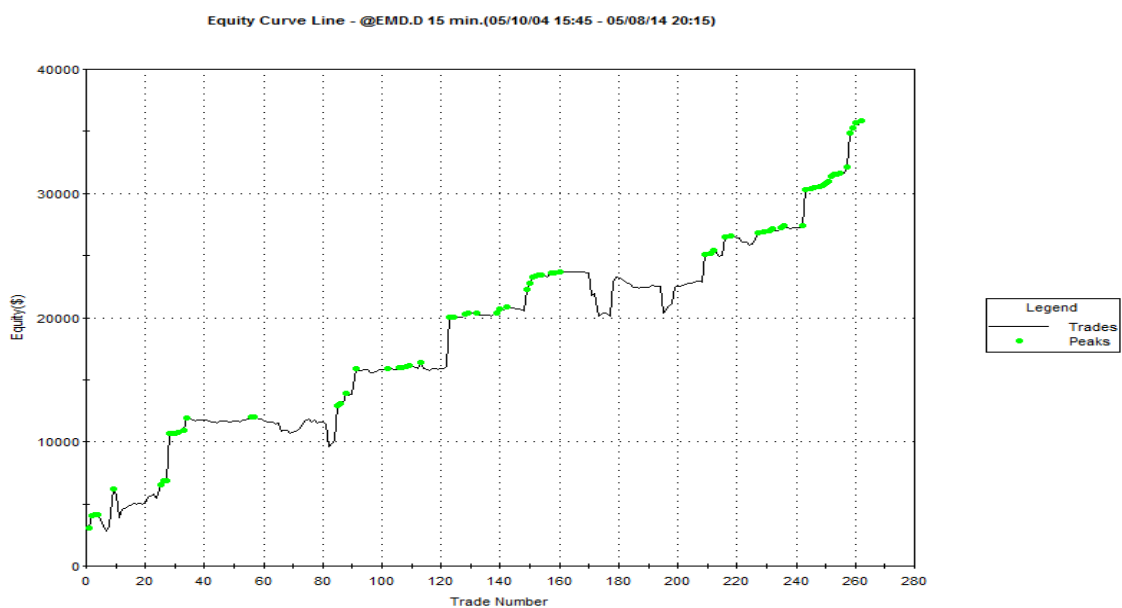
**Mark-To-Market Period Analysis:**

Period	Net Profit	% Gain	Profit Factor	# Trades	% Profitable
Last 12 month	\$10,680.00	5.77%	1.80	111	52.25%
1/1/2014	\$7,440.00	3.95%	4.18	31	64.52%
1/1/2013	\$12,310.00	6.99%	2.02	122	50.00%
1/1/2012	\$6,940.00	4.10%	2.04	91	53.85%
1/1/2011	\$20,140.00	13.51%	2.70	122	63.93%
1/1/2010	\$6,660.00	4.68%	1.77	132	55.30%
1/1/2009	\$12,950.00	10.01%	2.25	103	66.02%
1/1/2008	\$10,480.00	8.81%	2.84	56	71.43%
1/1/2007	\$7,700.00	6.92%	1.97	84	50.00%
1/1/2006	\$4,760.00	4.47%	1.66	80	46.25%
1/1/2005	\$3,470.00	3.37%	1.72	77	55.84%
1/1/2004	\$3,020.00	3.02%	5.25	50	64.00%



**Obrázek č. 33: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 2 (in-sample) (Zdroj: vlastní)**

Výše uvedený graf demonstruje historická data, na kterých byla provedena optimalizace, jedná se tedy o in-sample data.



**Obrázek č. 34: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 2 (out-of-sample) (Zdroj: vlastní)**

Na tomto grafu je zobrazena druhá část historických dat, na která byly aplikovány vhodné parametry (out-of-sample data).

### 4.3.5 Cluster analýza

Tab. č. 9: Výsledek cluster analýzy (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	PASS **	PASS **	PASS **	PASS	PASS	PASS **
15	PASS **	PASS **	PASS **	PASS	PASS	PASS
20	PASS **	PASS **	PASS	PASS	PASS	PASS
25	PASS **	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
30	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

Počáteční kapitál byl nastaven na \$15000 a vidíme, že strategie uspěla i ve finální a kritické fázi testování robustnosti. Matice o velikosti 3x3 v levém rohu tabulky má 9 z 9 polí označených PASS, což je více než dobrý výsledek. Obecně lze tuto cluster analýzu považovat za téměř dokonalou, protože všechna pole obdržela status PASS. Středový cluster se souřadnicemi 10,15 znamená, že historická data byla rozdělena na 10 dílů a každý díl je tvořen z 85% in-sample daty a z 15% out-of-sample daty.

Tab. č. 10: Časový interval nutný pro re-optimalizaci (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	241	177	140	118	99	87
15	316	217	162	132	108	95
20	375	241	178	136	116	100
25	421	263	188	149	122	103
30	468	274	194	151	123	105

Tato tabulka zobrazuje počet OOS dnů, tedy počet dnů, po kterých je nutné strategii re-optimalizovat. Hodnota středového clusteru činí 217 dnů, tzn. po každých 217 dnech je nutné strategii re-optimalizovat.

Tab. č. 11: Počet dnů vhodných pro re-optimalizaci (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	2,174	1,601	1,268	1,049	895	780
15	1,796	1,223	927	746	625	537
20	1,502	966	712	563	466	398
25	1,268	780	563	441	362	308
30	1,076	640	455	354	288	244

Již víme, po kolika dnech musíme strategii re-optimalizovat, a další tabulka zobrazuje počet in-sample dnů. Strategii je vhodné re-optimalizovat na předchozím časovém úseku 1223 dnů. Po prostudování reportu cluster analýzy jsem usoudil, že není nutné optimalizovat žádný ze vstupních parametrů. Veškeré optimalizované parametry kolísaly kolem nějaké konstanty



s malými odchylkami, pouze velikost stop-lossu se měnila od \$1500 do \$2000. Při dalších re-optimalizacích je vhodné hledat pouze optimální velikost stop-lossu. Pro následujících 217 dní bude použit stop-loss o velikosti \$1500.

**Tab. č. 12: Performance Summary (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)**

Performance Summary		2005/02/02 - 2014/05/02	
Total Net Profit	\$82,090.00		
Gross Profit	\$148,150.00	Gross Loss	\$-66,060.00
Total # of trades	832	Percent profitable	60.94%
Number winning trades	507	Number losing trades	325
Largest winning trade	\$3,920.00	Largest losing trade	\$-2,110.00
Average winning trade	\$292.21	Average losing trade	\$-203.26
Ratio avg win/avg loss	\$1.44	Avg trade (win & loss)	\$98.67
Median trade	\$30.00	Std.Deviation	\$559.82
Max consec. winners	10	Max consec. losers	8
Avg # bars in winners	14	Avg # bars in losers	6
Max intraday drawdown	\$-3,200.00	Profit Factor	2.24
Max intraday drawdown %	12.80%	Return on Initial Capital	328.36%
Note	Drawdown % based on Initial capital		

Výše uvedená tabulka je finálním reportem strategie všech OOS běhů, neboli souhrn všech období, na kterých nebyla provedena optimalizace, ale byly na tyto období aplikovány již optimalizované hodnoty.



**Obrázek č. 35: Equity křivka jednotlivých OOS běhů (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)**

Na grafu je zobrazena equity všech OOS běhů. Equity ve většině běhů vykazuje rostoucí tendenci, což znamená, že je strategie velmi robustní a s velkou pravděpodobností bude fungovat i v budoucnu.

#### 4.3.6 Multi-market a multi-timeframe analýza

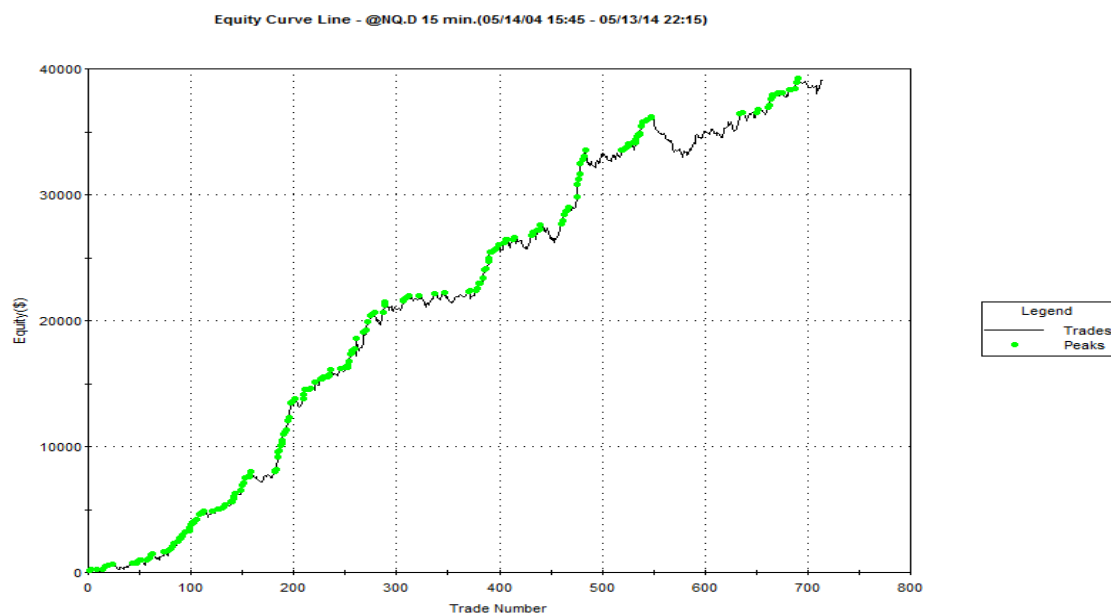
**Tab. č. 13: Multi-market a multi-timeframe analýza (Strategie č. 2) (Zdroj: vlastní)**

Symbol	Název	Timeframe	Období	Zisk/Ztráta
TF	E-mini Russell 2000	15 min.	10.5.2004-8.5.2014	\$56,250
EMD	E-mini S&P MidCap 400	15 min.	10.5.2004-8.5.2015	\$77,220
ES	E-mini S&P 500	15 min.	10.5.2004-8.5.2017	\$29,915
TF	E-mini Russell 2000	30 min.	10.5.2004-8.5.2018	\$40,480
EMD	E-mini S&P MidCap 400	30 min.	10.5.2004-8.5.2019	\$31,960
NQ	E-mini NASDAQ-100	30 min.	10.5.2004-8.5.2020	\$7,505

Nakonec jsem otestoval strategii i na jiných trzích a časových rámcích. V přehledu chybí 30minutový graf E-mini S&P 500 a 15minutový graf E-mini Nasdaq 100, protože na těchto trzích strategie nevygenerovala za sledované období žádné obchody. Z tabulky je zřejmé, že strategie funguje i na jiných trzích a časových rámcích. Opět budou následovat 2- 3 měsíce papertradingu a až poté bude možné strategii nasadit na živý obchodní účet.

## 4.4 Strategie č. 3

Strategie č. 3, kterou jsem sestavil opět pomocí programu Adaptrade Builder, je primárně určena pro trh E-mini Nasdaq 100 (NQ).



Obrázek č. 36: Equity křivka Strategie č. 3 (Zdroj: vlastní)

Total Net Profit: \$39205

Profit Factor: 1,97

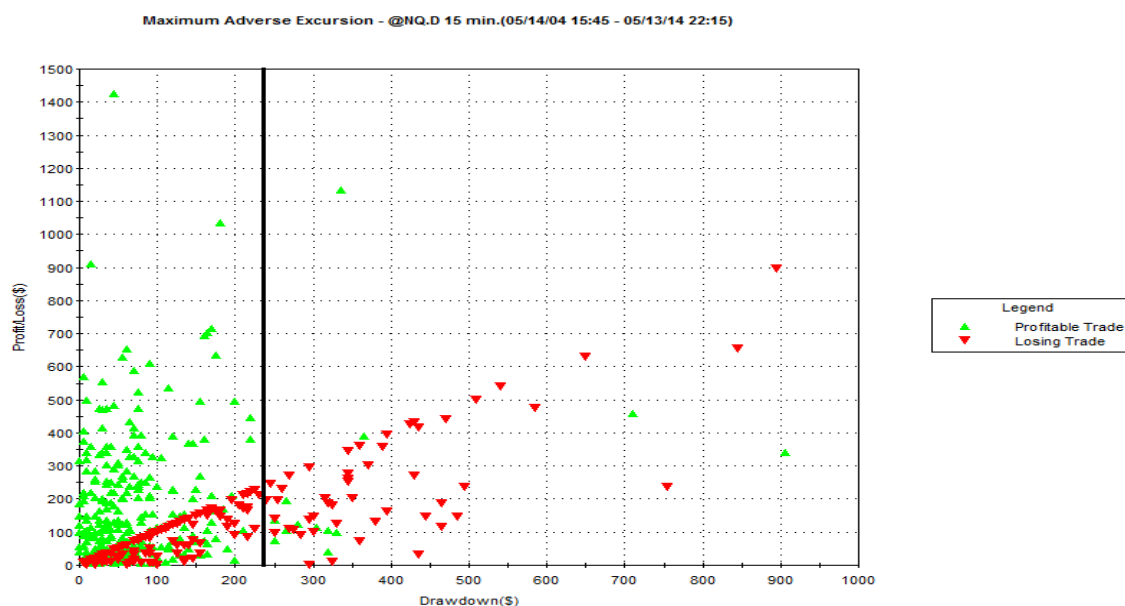
Total Number of Trades: 715

Avg Trade Profit: \$54,83

Max Drawdown: \$3185

V tomto případě se jedná o levnější trh, na kterém lze nalézt ziskové strategie, nicméně nelze očekávat tak vysoké zisky na jeden kontrakt jako na dražších trzích. Na druhou stranu na trhu NQ je možné nalézt strategie s velmi malými stop-lossy a drawdowny.

#### 4.4.1 Nastavení stop-lossu

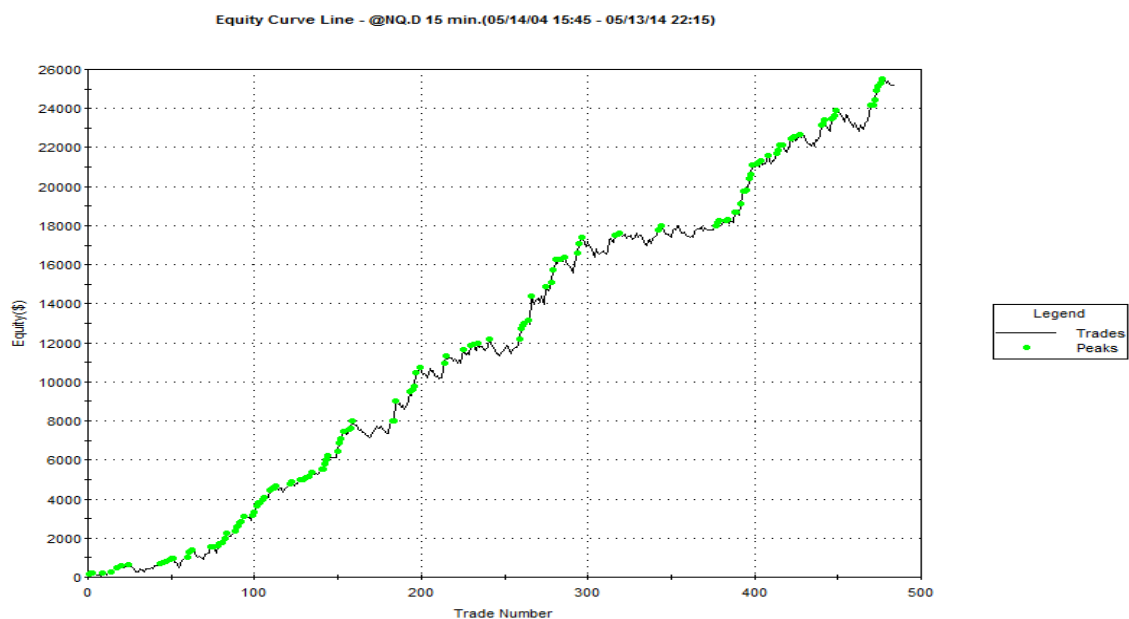


Obrázek č. 37: Maximum Adverse Excursion (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)

Z obrázku je patrné, že pro tuto strategii potřebujeme opravdu minimální ochranný stop-loss. Většina ziskových obchodů by byla realizována se stop-lossem \$200- \$250. Stop-loss bude dále optimalizován v dalším kroku pomocí programu TradeStation.

#### 4.4.2 Optimalizace parametrů

Provedl jsem optimalizaci parametrů v TradeStation, zároveň jsem jako proměnou optimalizoval i velikost stop-lossu a i po optimalizaci se jeví jako nejvhodnější použití stop-lossu o velikosti \$200. Níže uvedený graf zobrazuje equity s již optimalizovanými parametry.



Obrázek č. 38: Equity křivka Strategie č. 3 po optimalizaci (Zdroj: vlastní)

Total Net Profit: \$34805

Profit Factor: 1,84

Total Number of Trades: 731

Avg Trade Profit: \$47,61

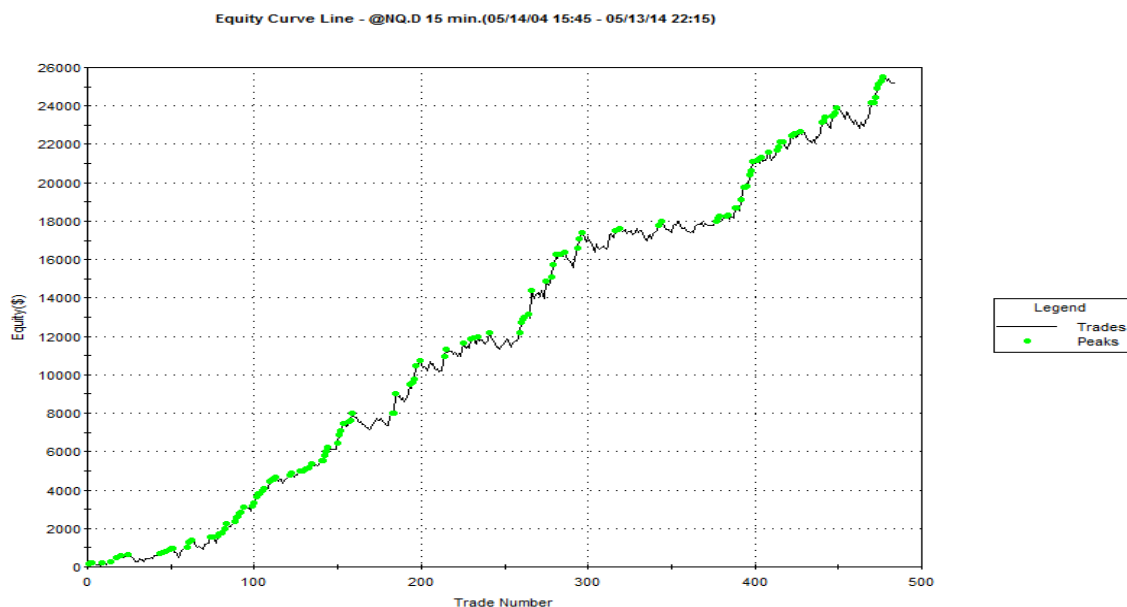
Max Drawdown: \$2630

Tab. č. 14: Distribuce zisků a ztrát Strategie č. 3 (Zdroj: vlastní)

**Mark-To-Market Period Analysis:**

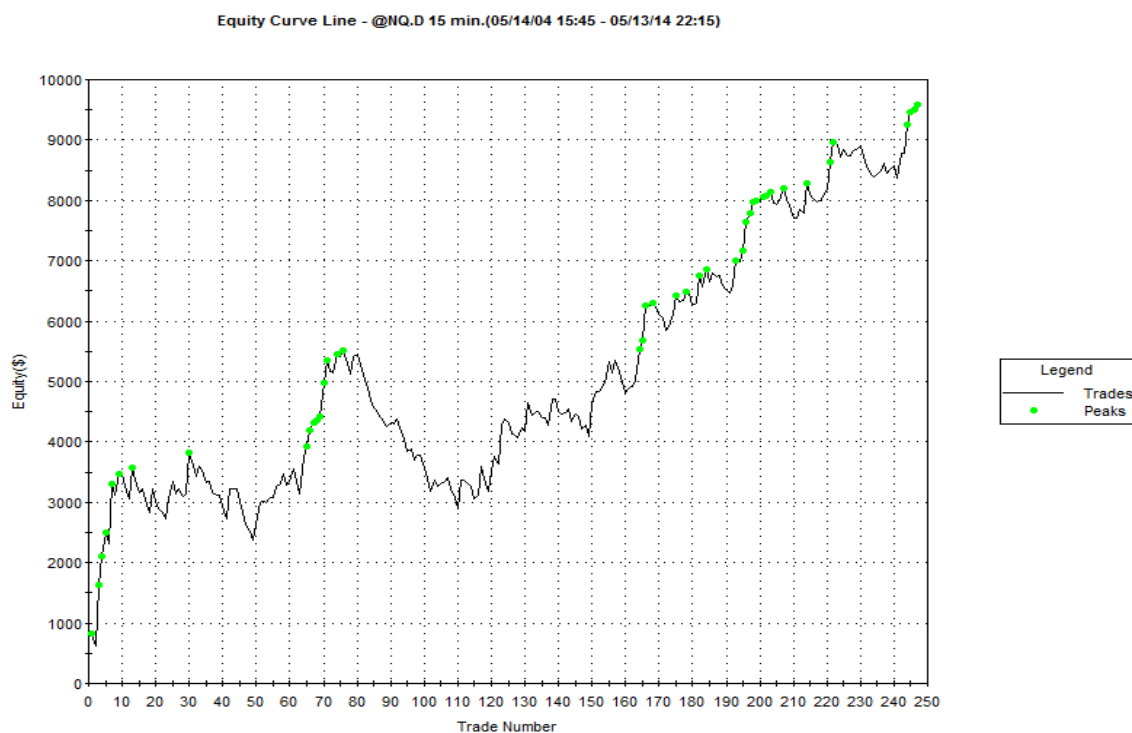
Period	Net Profit	% Gain	Profit Factor	# Trades	% Profitable
Last 12 month	\$4,225.00	3.24%	1.94	90	55.56%
1/1/2014	\$1,740.00	1.31%	2.08	35	57.14%
1/1/2013	\$3,355.00	2.59%	1.80	79	53.16%
1/1/2012	\$1,470.00	1.15%	1.25	81	45.68%
1/1/2011	\$6,175.00	5.06%	1.76	102	48.04%
1/1/2010	\$4,565.00	3.89%	2.28	75	62.67%
1/1/2009	\$1,095.00	0.94%	1.20	73	46.58%
1/1/2008	\$6,620.00	6.03%	2.04	90	52.22%
1/1/2007	\$4,520.00	4.29%	2.83	58	62.07%
1/1/2006	\$4,310.00	4.27%	2.67	88	61.36%
1/1/2005	\$955.00	0.95%	1.75	50	52.00%

Zkontrolujeme equity křivku optimalizované strategie a taktéž distribuci zisků a ztrát v průběhu let. V obou případech vidíme uspokojivé výsledky a můžeme pokračovat v dalších analýzách.



**Obrázek č. 39: Equity křivka Strategie č. 3 po optimalizaci (in-sample) (Zdroj: vlastní)**

Graf in-sample dat za testované období 10 let nazpět, jedná se o 70% veškerých dat použitých pro testování. Equity relativně stabilně vykazuje rostoucí trend.



**Obrázek č. 40: Equity křivka Strategie č. 3 po optimalizaci (out-of-sample) (Zdroj: vlastní)**

V dalším grafu vidíme out-of-sample data, tedy historická data, na kterých nebyla provedena optimalizace. Na 30% zbývajících historických dat byly aplikovány vhodné parametry nalezené

při optimalizaci. I u této ekvity křivky můžeme pozorovat rostoucí trend, což je v tomto kroku důležité.

#### 4.4.3 Cluster analýza

Pro tuto cluster analýzu jsem upravil testovaná kritéria, jelikož se jedná o levnější trh s menšími drawdowny, ale zároveň i menšími zisky. Tento trh lze tedy obchodovat s mnohem menším počátečním kapitálem. V níže uvedeném případě je počáteční kapitál nastaven na \$10000.

**Tab. č. 15: Výsledek cluster analýzy (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)**

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
15	PASS	PASS	PASS	FAILED	PASS	PASS
20	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
25	PASS	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED
30	PASS	FAILED	FAILED	FAILED	FAILED	PASS

Výsledky cluster analýzy jsou uspokojivé, všechny pole sice nejsou označeny statusem PASS, nicméně matice 3x3 v levém rohu tabulky je dostačujícím výsledkem pro ověření, že jsme našli další robustní strategii.

**Tab. č. 16: Časový interval nutný pro re-optimalizaci (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)**

OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	238	176	139	115	99	85
15	313	213	162	130	109	94
20	371	239	176	139	115	98
25	417	256	186	145	120	101
30	456	270	193	150	122	103

Při zkoumání re-optimalizačního intervalu bereme v úvahu opět hodnotu středového clusteru. Re-optimalizace strategie by měla být provedena vždy po 213 dnech.

**Tab. č. 17: Počet dnů vhodných pro re-optimalizaci (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)**

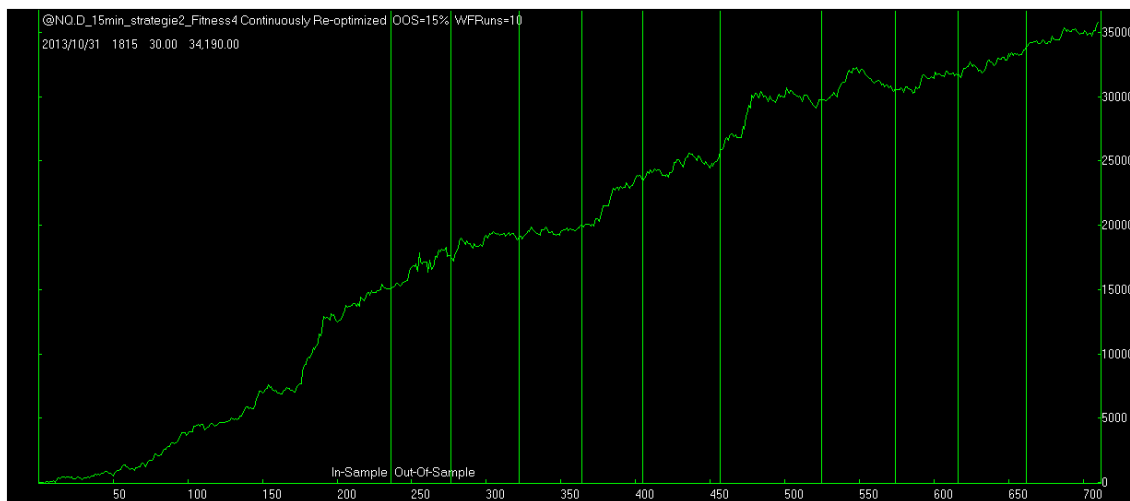
OOS% \ Runs	5	10	15	20	25	30
10	2,143	1,579	1,250	1,034	882	770
15	1,771	1,205	914	736	616	530
20	1,482	952	702	555	460	392
25	1,250	770	556	435	357	303
30	1,060	631	449	348	284	241

Na dalším obrázku vidíme in-sample dny. V případě Strategie č. 3 provedeme re-optimalizaci vždy na uplynulém období 1205 dnů.

**Tab. č. 18: Performance Summary (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)**

	Performance Summary			2005/03/28 - 2014/05/08		
	Total Net Profit	\$35,775.00				
	Gross Profit	\$76,115.00		Gross Loss	\$-40,340.00	
	Total # of trades	711		Percent profitable	56.82%	
	Number winning trades	404		Number losing trades	307	
	Largest winning trade	\$1,425.00		Largest losing trade	\$-750.00	
	Average winning trade	\$188.40		Average losing trade	\$-131.40	
	Ratio avg win/avg loss	\$1.43		Avg trade (win & loss)	\$50.32	
	Median trade	\$20.00		Std.Deviation	\$228.82	
	Max consec. winners	10		Max consec. losers	8	
	Avg # bars in winners	10		Avg # bars in losers	7	
	Max intraday drawdown	\$-1,970.00		Profit Factor	1.89	
	Max intraday drawdown %	19.70%		Return on Initial Capital	357.75%	
Note	Drawdown % based on Initial capital					

Závěrečný Performance Summary report obsahuje výsledky cluster analýzy všech OOS běhů. Strategie by za 10 let vydělala celkem \$35775 s velmi přijatelným drawdownem \$1970.



**Obrázek č. 41: Equity křivka jednotlivých OOS běhů (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)**

Na výše uvedeném obrázku vidíme stabilně rostoucí equity všech 10 OOS běhů, což je další vizuální kontrola robustnosti celé strategie. Pro následující období 213 dnů bude nastaven stop-loss \$200.



#### 4.4.4 Multi-market a multi-timeframe analýza

Tab. č. 19: Multi-market a multi-timeframe analýza (Strategie č. 3) (Zdroj: vlastní)

Symbol	Název	Timeframe	Období	Zisk/Ztráta
TF	E-mini Russell 2000	15 min.	14.5.2004-13.5.2014	\$32,730
EMD	E-mini S&P MidCap 400	15 min.	14.5.2004-13.5.2015	\$29,810
NQ	E-mini NASDAQ-100	15 min.	14.5.2004-13.5.2016	\$35,775
ES	E-mini S&P 500	15 min.	14.5.2004-13.5.2017	\$20,700
TF	E-mini Russell 2000	30 min.	14.5.2004-13.5.2018	\$22,510
EMD	E-mini S&P MidCap 400	30 min.	14.5.2004-13.5.2019	\$9,690
NQ	E-mini NASDAQ-100	30 min.	14.5.2004-13.5.2020	\$4,325
ES	E-mini S&P 500	30 min.	14.5.2004-13.5.2021	\$6,037

Strategie obstála i v posledním testu robustnosti, kterým je multi-market a multi-timeframe analýza. Na vyšších časových rámcích je strategie sice zisková, nicméně pouze s minimálním profitem, což bude zapříčiněno především nižším stop-lossem, který pro vyšší časové rámce není ideální. Důležitým faktem však zůstává, že je strategie profitabilní i na vyšších časových rámcích a různých trzích.

## 4.5 Vyhodnocení portfolia

V této části práce se zaměřím na profitabilitu jednotlivých strategií a na náklady. Náklady lze rozdělit do dvou kategorií. Jedná se o náklady spojené s vývojem strategie a dále budu analyzovat náklady spojené s reálným obchodováním. V neposlední řadě navrhu další kroky pro práci se strategiemi a doporučení pro reálné obchodování.

### 4.5.1 Výběr brokera

Vhodným řešením se nabízí již zmiňovaná společnost TradeStation, která má intuitivní a z pohledu uživatele velmi přijatelnou platformu. Dále nabízí oproti konkurenci nízké komise a skluzy v plnění (slippage) jsou taktéž minimální. V případě, že obchodník není klientem společnosti TradeStation, je možné si platformu i s daty pronajmout za cenu \$249,95/měsíc. Pokud obchodník provede alespoň 10 obchodů měsíčně jako klient společnosti TradeStation, získá platformu i real-time data zdarma. Komise pro trhy E-mini Russell 2000, E-mini Nasdaq 100 a E-mini S&P MidCap 400 činí \$4,72 za obchod s jedním kontraktem. Nutno podotknout, že u TradeStation lze získat i nižší komise, nicméně je nutné splnit podmínku minimálního počtu uskutečněných obchodů.

### 4.5.2 Strategie č. 1

Tab. č. 20: Vyhodnocení Strategie č. 1 (Zdroj: vlastní)

Trh	Zisk	Komise	Slippage	Čistý zisk	Průměrný roční zisk
E-mini Russell 2000	\$101980	\$4361	\$9240	\$88379	\$8838

Strategie č. 1 na trhu E-mini Russell 2000 za posledních 10 let vydělala \$101980, nicméně od každého obchodu je nutné odečíst komise a slippage. Komise činí \$4,72 na jeden obchod s jedním kontraktem a slippage jsem zvolil 1 tick u každého obchodu. Jeden tick na trhu E-mini Russell 2000 představuje \$10, pro každý obchod jsem tedy započítal náklady ve výši \$14,72. Za sledované období celkové náklady (komise + slippage) činily \$13601. Po odečtení nákladů je celkový čistý zisk \$88379.

Strategie zaznamenala historický drawdown -\$5340. V případě, že bude žádoucí obchodovat Strategii č. 1 samostatně a ne v rámci celého portfolia, je vhodné účet kapitalizovat přinejmenším částkou \$20000. Samozřejmě je nutné přihlédnout k povaze obchodníka, ale kapitalizace účtu ve výši čtyřnásobku historického drawdownu je z pohledu money managementu vhodnou, ne-li povinnou podmínkou. Za rok by strategie počáteční investici \$20000 zhodnotila téměř o 44%.

### 4.5.3 Strategie č. 2

Tab. č. 21: Vyhodnocení Strategie č. 2 (Zdroj: vlastní)

Trh	Zisk	Komise	Slippage	Čistý zisk	Průměrný roční zisk
E-mini S&P MidCap 400	\$82090	\$3927	\$8320	\$69843	\$6984

Strategie č. 2 na trhu E-mini S&P MidCap 400 vygenerovala zisk \$82090 a celkové náklady činily \$12247. Opět jsem do nákladů započítal komise \$4,72/kontrakt. Slippage v podobě 1 ticku na tomto trhu je stejné jako v případě trhu E-mini Russell 2000 (1 tick = \$10). Na jeden obchod jsou celkové náklady tedy \$14,72/kontrakt. Čistý zisk činí \$69843.

Pro obchodování této strategie je vhodné zvážit kapitalizaci účtu ve výši \$12000, jelikož historický drawdown byl -\$3200. Pokud bychom kapitalizovali účet částkou \$12000, potom získáme průměrné roční zhodnocení investice cca 58%.

### 4.5.4 Strategie č. 3

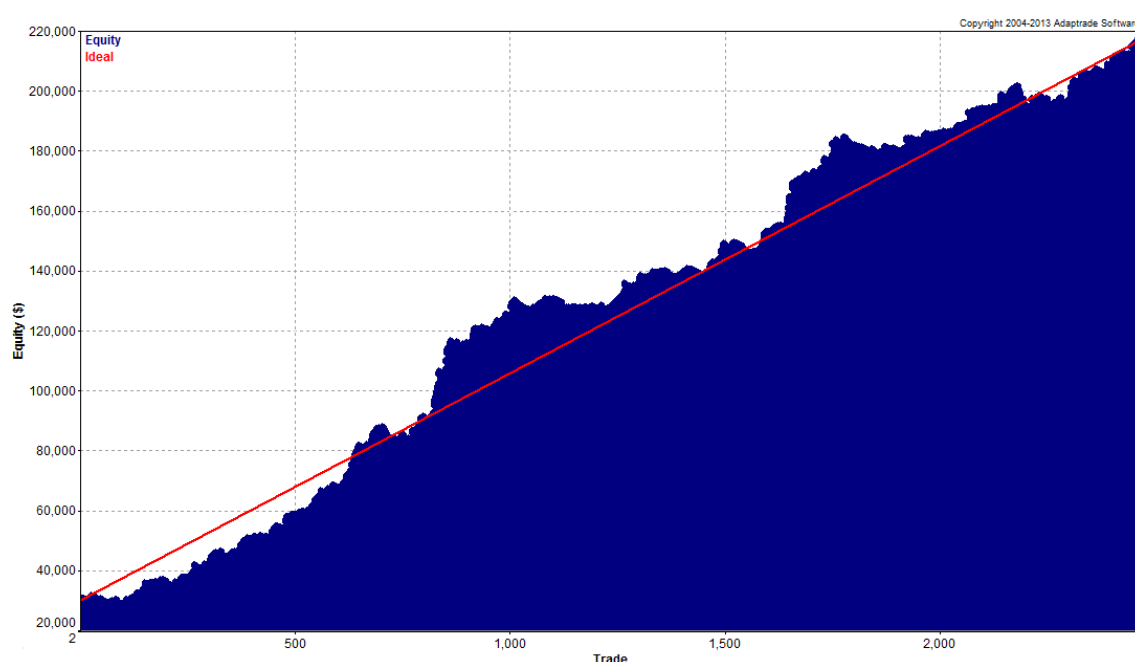
Tab. č. 22: Vyhodnocení Strategie č. 3 (Zdroj: vlastní)

Trh	Zisk	Komise	Slippage	Čistý zisk	Průměrný roční zisk
E-mini Nasdaq 100	\$35775	\$3356	\$3555	\$28864	\$2886

Zisk Strategie č. 3 na trhu E-mini Nasdaq 100 činil za 10 let \$35775. Slippage na trhu NQ jsem zvolil ve výši \$5, což se opět rovná 1 ticku a komise je \$4,72 za jeden obchod s jedním kontraktem. Náklady na 1 obchod v tomto případě tedy činí \$9,72. Po odečtení celkových nákladů ve výši \$6911 získáme čistý zisk \$28864.

Drawdown strategie na trhu E-mini Nasdaq 100 byl za 10 let -\$1970. Je zřejmé, že trh NQ je spíše jeden z těch levnějších, na kterém lze očekávat nižší drawdown a nutný počáteční kapitál pro obchodování této strategie bude cca \$8000. Na druhou stranu nelze očekávat ani astronomické zisky, nicméně pokud bychom účet kapitalizovali částkou \$8000, průměrné roční zhodnocení investice bude cca 36%.

### 4.5.5 Výsledné portfolio



Obrázek č. 42: Equity křivka portfolio (Zdroj: vlastní)

V této části budu analyzovat portfolio tří výše uvedených strategií. Výše uvedený graf vytvořený v programu Market System Analyzer zobrazuje equity křivku výsledného portfolio, přičemž počáteční kapitál byl stanoven na hodnotu \$30000. Do grafu jsem již zahrnul i komise a slippage.

Tab. č. 23: Vyhodnocení portfolio (Zdroj: vlastní)

	Zisk	Komise	Slippage	Čistý zisk	Průměrný roční zisk
Portfolio	\$219845	\$11644	\$21115	\$187086	\$18709

V případě obchodování všech tří strategií jako portfolio by čistý zisk činil \$187086. Celkové poplatky (komise + slippage) by byly přibližně \$32759.

**Tab. č. 24: Výsledek Monte Carlo simulace (Zdroj: vlastní)**

Monte Carlo Results at 95.00% Confidence	
Total Net Profit: \$187,299.06	Max Number of Contracts: 1
Final Account Equity: \$217,299.06	Minimum Number of Contracts: 1
Return on Starting Equity: 624.3%	Average Number of Contracts: 1
Profit Factor: 1.685	
Largest Winning Trade: \$3,906.81	Largest Losing Trade: (\$2,123.19)
Largest Winning Trade (%): 6.271%	Largest Losing Trade (%): -6.545%
Average Winning Trade: \$343.77	Average Losing Trade: (\$242.55)
Average Winning Trade (%): 0.3337%	Average Losing Trade (%): -0.3129%
Average Trade: \$75.92	Win/Loss Ratio: 1.417
Average Trade (%): 0.08192%	Win/Loss Ratio (%/%) : 1.330
Trade Standard Deviation: \$517.37	Max Consecutive Wins: 9
Trade Standard Deviation (%): 0.7659%	Max Consecutive Losses: 12
Worst Case Drawdown: (\$10,570.80)	Return/Drawdown Ratio: 29.05
Worst Case Drawdown (%): 21.49%	Modified Sharpe Ratio: 0.1086
Average Drawdown: (\$824.98)	
Average Drawdown (%): 0.9184%	

Dále jsem spustil Monte Carlo simulaci celého portfolia, která provede obrovské množství náhodných posloupností uskutečněných obchodů. Simulace je přínosná hlavně pro zjištění očekávaného drawdownu. I když portfolio jako celek dosáhlo maximálního drawdownu cca \$8000, tak nelze spoléhat na to, že se v budoucnu neobjeví vyšší drawdown.

Na výše uvedeném reportu vidíme, že s 95 % pravděpodobností nepřesáhne drawdown portfolia hranici \$10570. Z pohledu money managementu bychom měli zvážit počáteční investici v rozmezí \$40000- \$450000 na celé portfolio. V případě investice \$40000 lze očekávat průměrné roční zhodnocení asi 47 %.

#### **4.5.6 Náklady na vývoj a testování strategií**

Pro vývoj a testování strategií byla nutná platforma TradeStation s historickými daty, dále programy Market System Analyzer a Adaptrade Builder. Pro účely této práce byl zakoupen 2 měsíční pronájem platformy TradeStation. První měsíc jsem využil promoakce a platformu s historickými daty jsem získal pouze za \$50. Následující měsíc již bylo nutné zaplatit pronájem platformy za \$250. Software Adaptrade Builder a Market System Analyzer jsem využíval v trial verzi, která je zdarma. Vývoj strategií daného portfolia trval odhadem 200 hodin. Pokud započítáme hodinovou sazbu \$7, tak je celkový náklad \$1400.

#### **4.5.7 Doporučení**

Všechny strategie jsou řádně otestovány, nicméně ještě chybí poslední krok k tomu, abychom mohli strategie nasadit na živý obchodní účet. V tuto chvíli je nutné provést ještě papertrading navržených strategií. Není nutné strategie testovat na demo-úctu na denní bázi, ale po 2- 3 měsících musíme opět otestovat strategii na uplynulém období. Pokud budou výsledky uspokojivé, stačí již pouze otevřít a fundovat účet u TradeStation.

Dále je vhodné definovat pravidla pro období, kdy bude některá ze strategií v drawdownu a kdy strategii vypnout, popřípadě znovu otestovat. Z pohledu money managementu navrhuji vypnout strategii, pokud dojde k poklesu equity křivky ve výši 1,5násobku historického drawdownu. V tuto chvíli není nutné strategii ihned vyřadit z portfolia. Strategii pouze vypneme, po 2- 3 měsících opět otestujeme a pokud budou výsledky uspokojivé, tak ji znovu nasadíme na živý obchodní účet. Jestliže strategie zaznamenala určitý historický drawdown, neznámá to, že tento drawdown nemůže být v budoucnu překonán. Strategie může být stále profitabilní i přesto, že v danou chvíli vytváří nový a větší drawdown.

## Závěr

Globálním cílem této práce je sestavení několika automatických obchodních systémů a dále jejich vyhodnocení jako celku neboli portfolia. Byly navrženy celkem 3 strategie na různých e-mini trzích (TF- E-mini Russell 2000, NQ- E-mini Nasdaq 100, EMD- E-mini S&P MidCap 400). AOS využívají prostředky technické analýzy (především indikátory) a jsou založeny na tzv. breakoutech (prolamování určitých cenových úrovní). Vývoj, optimalizace a testování bylo provedeno v případě všech strategií na 15minutovém časovém rámci. Optimalizaci a následné testování jsem provedl na 10 letech historických dat. Všechny AOS jsou plně automatické, tedy není třeba jakéhokoliv aktivního zásahu ze strany obchodníka, pouze je nutné strategie jednou za určité časové období optimalizovat.

K vývoji jsem využil softwaru zvaného Adaptrade Builder, který generuje strategie pomocí genetických algoritmů. Adaptrade Builder dokáže práci velmi usnadnit, ale je nutná maximální selekce a vybírat opravdu pouze ty nejlepší strategie. Dále jsem programoval v platformě TradeStation pomocí jazyka EasyLanguage. V této práci jsou tedy prezentovány dvě cesty vývoje AOS, buďto samotné programování v EasyLanguage nebo generování strategií pomocí Adaptrade Builderu.

Sestavené strategie bylo následně nutné optimalizovat, což jsem uskutečnil opět v platformě TradeStation. Pomocí optimalizace jsem získal tzv. Walk-Forward test, který slouží jako podklad pro finální a zároveň kritickou část testování robustnosti- cluster analýzu. Až pomocí cluster analýzy lze jednoznačně ověřit, zda bude strategie schopna obstát v prostředí reálných trhů nebo je to pouze preoptimalizovaná fikce. Cluster analýza může být pro začínající obchodníky velmi frustrující, protože drtivá většina vyvíjených strategií selže až při tomto testu robustnosti, nicméně bez cluster analýzy nelze strategii pustit do živých trhů. Pro ověření, zda je strategie robustní, byla provedena také multi-market a multi-timeframe analýza. Tím jsem získal ověření, že strategie funguje i na dalších trzích a časových rámcích.

V poslední části jsem se zaměřil na vyhodnocení celého portfolia, které jsem analyzoval pomocí programu Market System Analyzer (MSA). MSA nabízí tzv. Monte Carlo simulaci, při které program vytvoří velké množství náhodných posloupností uskutečněných obchodů a tím nám dá jasnější představu o maximálním drawdownu celého portfolia. Po této simulaci jsem zjistil, že s 95% pravděpodobností drawdown nepřesáhne hranici \$10570. Tedy při počáteční investici \$40000 získáme roční zhodnocení celého portfolia asi 47% (\$18709).

Přínosem této práce je bezesporu i navržené workflow, které jednoznačně definuje vývoj, optimalizaci a testování AOS. Tyto pracovní postupy je nutné při vývoji AOS dodržovat a nelze jakýkoliv z nich přeskočit nebo vynechat. Kritickou součástí je již zmiňovaná cluster analýza, bez které strategie nelze spustit v reálných trzích.



## Seznam použité literatury

### Knižní zdroje

- [1] DVOŘÁK, Roman a Ludvík TUREK. *Trading strategie*. Brno: Computer Press, 2008. 140 s. ISBN 978-80-251-2240-2.
- [2] ELDER, Alexander. *Tradingem k bohatství: psychologie, obchodní systémy, money management*. Tetčice: Impossible, c2006, viii s., s. 10-305. ISBN 80-239-7048-8.
- [3] FANTA, Jiří. *Psychologie, algoritmy a umělá inteligence na kapitálových trzích*. 1. vyd. Praha: Grada, 2001, 167 s. ISBN 80-247-0024-7.
- [4] HARTMAN, Ondřej. *Začínáme na burze: jak uspět při obchodování na finančních trzích - akcie, komodity a forex*. 1. vyd. Brno: BizBooks, 2013, 246 s. ISBN 978-80-265-0033-9.
- [5] NESNÍDAL, Tomáš a Petr PODHAJSKÝ. *Obchodování na komoditních trzích: průvodce spekulanta*. 2. rozš. vyd. / . Praha: Grada, 2007, 200 s. ISBN 80-247-1851-0.
- [6] PARDO, Robert. *The evaluation and optimization of trading strategies*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2008, xxx, 334 p. ISBN 04-701-2801-1.
- [7] PODHAJSKÝ, Petr a Tomáš NESNÍDAL. *Kompletní průvodce úspěšného finančníka*. Praha: Centrum finančního vzdělávání, 2009, 338 s. Finančník. ISBN 978-809-0387-454.
- [8] POKORNÝ, Miroslav. *Umělá inteligence v modelování a řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN, 1996, 188 s. ISBN 80-901-9844-9.
- [9] REJNUŠ, Oldřich. *Finanční trhy*. 3., rozš. vyd. Ostrava: Key Publishing, 2011, 689 s. Ekonomie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-128-3.
- [10] SEKERKA, Bohuslav. *Cenné papíry a kapitálový trh*. 1.vyd. Praha: Profess, 1996, 179 s. ISBN 80-85235-41-2.
- [11] SOJKA, Zdeněk a Petr DOSTÁL. *Elliottovy vlny*. V Tribunu EU vyd. 1. Brno: Tribun EU, 2008, 272 s., [2] s. obr. příl. ISBN 978-80-7399-630-7.

- [12] ŠAFAŘÍK, Pavel. *Praktický průvodce denním obchodováním*. Praha: P. Šafařík, 2011, 143 s. ISBN 978-80-260-0093-8.
- [13] ŠTÝBR, David, Petr KLEPETKO a Pavlína ONDRÁČKOVÁ. *Začínáme investovat a obchodovat na kapitálových trzích*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 156 s. Finance pro každého. ISBN 978-80-247-3648-8.
- [14] VESELÁ, Jitka. *Investování na kapitálových trzích*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2011, 789 s. ISBN 978-80-7357-647-9.
- [15] WILDER, J. *New concepts in technical trading systems*. Greensboro, N.C.: Trend Research, c1978, 141 p. ISBN 08-945-9027-8.

## **Elektronické zdroje**

- [16] About the TradeStation Walk-Forward Optimizer. In: *TradeStation* [online]. 2009 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z [http://help.tradestation.com/09\\_01/tswfo/topics/about\\_wfo.htm](http://help.tradestation.com/09_01/tswfo/topics/about_wfo.htm)
- [17] Adaptrade Builder: User's Guide. In: *Adaptrade Software* [online]. 2010, 2014 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.adaptrade.com/Builder/AdaptradeBuilderUG.pdf>
- [18] Average True Range (ATR). In: *StockCharts.com - Simply the Web's Best Financial Charts* [online]. 2006 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: [http://stockcharts.com/help/doku.php?id=chart\\_school:technical\\_indicators:average\\_true\\_range\\_a](http://stockcharts.com/help/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:average_true_range_a)
- [19] Market System Analyzer. In: *Adaptrade Software* [online]. 2005 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.adaptrade.com/MSA/>
- [20] NESNÍDAL, Tomáš. Plaforma TradeStation: Představení, návod k otevření účtu, bonusy zdarma. In: *Financnik.cz - komodity, akcie, burza, forex* [online]. 2013 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.financnik.cz/komodity/zkusenosti/TradeStation-predstaveni-ucet-bonusy.html>
- [21] NESNÍDAL, Tomáš. Práce na AOS #2: S jakým účtem se do toho pustit. In: *Financnik.cz - komodity, akcie, burza, forex* [online]. 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.financnik.cz/komodity/zkusenosti/prace-na-aos-2-kapitalizace.html>

- [22] NESNÍDAL, Tomáš. Obchodní systém FinWin: Jaké další trhy pro odpolední daytrading?. In: *Financnik.cz - komodity, akcie, burza, forex* [online]. 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: [http://www.financnik.cz/komodity/fin\\_home/finwin-daytrading-dalsi-trhy.html](http://www.financnik.cz/komodity/fin_home/finwin-daytrading-dalsi-trhy.html)
- [23] NESNÍDAL, Tomáš. Úvod do breakout strategií. In: *Financnik.cz - komodity, akcie, burza, forex* [online]. 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: [http://www.financnik.cz/komodity/fin\\_home/uvod-do-breakout-strategii.html](http://www.financnik.cz/komodity/fin_home/uvod-do-breakout-strategii.html)
- [24] NESNÍDAL, Tomáš. WalkForward analýza podrobněji. *Financnik.cz - komodity, akcie, burza, forex* [online]. 2010 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://www.financnik.cz/komodity/zkusenosti/walkforward-analyzapodrobneji.html>

# Seznam obrázků a tabulek

## Obrázky

Obrázek č. 1: Rostoucí a klesající svíčka.....	18
Obrázek č. 2: Klesající a rostoucí bar.....	19
Obrázek č. 3: Uptrend.....	20
Obrázek č. 4: Downtrend.....	20
Obrázek č. 5: Cyklický trh.....	21
Obrázek č. 6: Plovoucí WFA.....	35
Obrázek č. 7: Ukotvená WFA.....	35
Obrázek č. 8: Breakout úrovně.....	37
Obrázek č. 9: Algoritmus hledání strategií.....	38
Obrázek č. 10: Cluster analýza.....	39
Obrázek č. 11: EasyLanguage- kód.....	42
Obrázek č. 12: Graf trhu EMD.....	43
Obrázek č. 13: Maximum Adverse Excursion.....	43
Obrázek č. 14: Nastavení Fitness.....	44
Obrázek č. 15: Nastavení rozmezí zvolených parametrů.....	45
Obrázek č. 16: Výsledné nastavení optimalizace zvolených parametrů.....	46
Obrázek č. 17: Výběr metody a typu optimalizace.....	47
Obrázek č. 18: Výsledné parametry optimalizace.....	47
Obrázek č. 19: Equity křivka testované strategie.....	48
Obrázek č. 20: Výběr Walk-Forward testu pro cluster analýzu.....	48
Obrázek č. 21: Nastavení testovaných kritérií.....	49
Obrázek č. 22: Equity křivka po stanovení breakout úrovně.....	50
Obrázek č. 23: Equity křivka po optimalizaci.....	51
Obrázek č. 24: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 1 (in-sample).....	52
Obrázek č. 25: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 1 (out-of-sample).....	53
Obrázek č. 26: Maximum Adverse Excursion (Strategie č. 1).....	53
Obrázek č. 27: Equity křivka po aplikaci stop-lossu.....	54
Obrázek č. 28: Equity křivka jednotlivých OOS běhů (Strategie č. 1).....	56
Obrázek č. 29: Equity křivka Strategie č. 2.....	58
Obrázek č. 30: Equity křivka Strategie č. 2 pouze na stranu long.....	59
Obrázek č. 31: Maximum Adverse Excursion (Strategie č. 2).....	60

Obrázek č. 32: Equity křivka Strategie č. 2 po optimalizaci.....	61
Obrázek č. 33: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 2 (in-sample).....	62
Obrázek č. 34: Equity křivka po optimalizaci Strategie č. 2 (out-of-sample).....	62
Obrázek č. 35: Equity křivka jednotlivých OOS běhů (Strategie č. 2).....	65
Obrázek č. 36: Equity křivka Strategie č. 3.....	66
Obrázek č. 37: Maximum Adverse Excursion (Strategie č. 3).....	67
Obrázek č. 38: Equity křivka Strategie č. 3 po optimalizaci.....	68
Obrázek č. 39: Equity křivka Strategie č. 3 po optimalizaci (in-sample).....	69
Obrázek č. 40: Equity křivka Strategie č. 3 po optimalizaci (out-of-sample).....	69
Obrázek č. 41: Equity křivka jednotlivých OOS běhů (Strategie č. 3).....	71
Obrázek č. 42: Equity křivka portfolia.....	75

## Tabulky

Tab. č. 1: Výsledek cluster analýzy.....	49
Tab. č. 2: Distribuce zisků a ztrát Strategie č. 1.....	52
Tab. č. 3: Výsledek cluster analýzy (Strategie č. 1).....	54
Tab. č. 4: Časový interval nutný pro re-optimalizaci (Strategie č. 1).....	55
Tab. č. 5: Počet dnů vhodných pro re-optimalizaci (Strategie č. 1).....	55
Tab. č. 6: Performance Summary (Strategie č. 1).....	56
Tab. č. 7: Multi-market a multi-timeframe analýza (Strategie č. 1).....	57
Tab. č. 8: Distribuce zisků a ztrát Strategie č. 2.....	61
Tab. č. 9: Výsledek cluster analýzy (Strategie č. 2).....	63
Tab. č. 10: Časový interval nutný pro re-optimalizaci (Strategie č. 2).....	63
Tab. č. 11: Počet dnů vhodných pro re-optimalizaci (Strategie č. 2).....	63
Tab. č. 12: Performance Summary (Strategie č. 2).....	64
Tab. č. 13: Multi-market a multi-timeframe analýza (Strategie č. 2).....	65
Tab. č. 14: Distribuce zisků a ztrát Strategie č. 3.....	68
Tab. č. 15: Výsledek cluster analýzy (Strategie č. 3).....	70
Tab. č. 16: Časový interval nutný pro re-optimalizaci (Strategie č. 3).....	70
Tab. č. 17: Počet dnů vhodných pro re-optimalizaci (Strategie č. 3).....	70
Tab. č. 18: Performance Summary (Strategie č. 3).....	71
Tab. č. 19: Multi-market a multi-timeframe analýza (Strategie č. 3).....	72
Tab. č. 20: Vyhodnocení Strategie č. 1.....	73
Tab. č. 21: Vyhodnocení Strategie č. 2.....	74
Tab. č. 22: Vyhodnocení Strategie č. 3.....	74

Tab. č. 23: Vyhodnocení portfolia.....	75
Tab. č. 24: Výsledek Monte Carlo simulace.....	76

## **Seznam příloh**

Příloha A: Kód Strategie č. 1

Příloha B: Kód Strategie č. 2

Příloha C: Kód Strategie č. 3

## Příloha A

```
Inputs: CCI_period(10),  
ATR_period (6),  
SL (2000),  
Multiple_of_ATR (2),  
FirstEntryTm (1530),  
LastEntryTm (1830);
```

```
Var: LongBreakout (0),  
ShortBreakout (0),  
CCI_filtr_Long(false),  
CCI_filtr_Short(false),  
TimeOK(false);
```

```
{ Entry prices }  
LongBreakout = Average (H, 3) + Multiple_of_ATR * AvgTrueRange(ATR_period);  
ShortBreakout = Average (L, 3) - Multiple_of_ATR * AvgTrueRange(ATR_period);
```

```
{ CCI conditions }  
CCI_filtr_Long = CCI(CCI_period) > 0;  
CCI_filtr_Short = CCI(CCI_period) < 0;
```

```
{ Time conditions }  
TimeOK = Time >= FirstEntryTm and Time < LastEntryTm;
```

```
{ Entries }  
If EntriesToday(Date) < 1 and TimeOK and CCI_filtr_Long then begin Buy next bar at LongBreakout stop;  
end;
```

```
If EntriesToday(Date) < 1 and TimeOK and CCI_filtr_Short then begin Sellshort next bar at ShortBreakout stop;  
end;
```

```
{ Stop-loss }  
Setstoploss (SL);
```

```
{ End-of-Day Exit }  
SetExitOnClose;
```



## Příloha B

{ Strategy inputs }

Inputs: NL1 (12),  
NL2 (15),  
NL3 (80),  
FirstEntryTm (1530),  
LastEntryTm (1830),  
NBarEnL1 (45),  
NBarEnL2 (5),  
EntFrL (1.0170),  
NATRL (16),  
ATRFrTrailL (2.6999),  
SL(1500),  
TrailPctL (21.0000);

{ Variables for average true range for entry and exit orders }

Var: ATRL (0);

{ Variables for entry and exit prices }

Var: EntPrL (0),  
LStop (0),  
NewLStop (0),  
LTrailOn (false);

{ Variables for entry and exit conditions }

Var: VarL1 (0),  
VarL2 (0),  
VarL3 (0),  
VarL4 (0),  
EntCondL (false),  
ExCondL (false),  
EndofSess (false),  
TimeOK (false);

{ Average true range }

ATRL = AvgTrueRange(NATRL);

{ Entry prices }

EntPrL = TriAverage(H, NBarEnL1) + EntFrL \* AbsValue(L[NBarEnL2] - O);

{ Entry and exit conditions }

VarL1 = CloseD(1);  
VarL2 = L[NL1];  
VarL3 = C[NL2];

```
VarL4 = TRIX(VarL3, NL3);
EntCondL = VarL1 <= VarL2;
ExCondL = VarL4 > 0;
```

```
TimeOK = Time >= FirstEntryTm and Time < LastEntryTm;
```

```
EndofSess = false;
```

```
If DataCompression >= 1 and DataCompression <= 4 then
```

```
    EndofSess = Time = SessionEndTime(0, 1);
```

```
{ Entry orders }
```

```
If MarketPosition = 0 and (EntriesToday(Date) < 2 or EndofSess) and EntCondL and TimeOK then begin
```

```
    Buy("EnStop-L") 1 shares next bar at EntPrL stop;
```

```
end;
```

```
Setstoploss(SL);
```

```
{ Exit orders, long trades }
```

```
If MarketPosition > 0 then begin
```

```
    If BarsSinceEntry = 0 then begin
```

```
        LStop = 0;
```

```
        LTrailOn = false;
```

```
    end;
```

```
    If C - EntryPrice > ATRFrTrailL * ATRL then
```

```
        LTrailOn = true;
```

```
    If LTrailOn then begin
```

```
        NewLStop = EntryPrice + TrailPctL * (C - EntryPrice)/100.;
```

```
        LStop = MaxList(LStop, NewLStop);
```

```
    end;
```

```
    If ExCondL then
```

```
        Sell("ExMark-L") next bar at market;
```

```
    If LTrailOn then
```

```
        Sell("ExTrail-L") next bar at LStop stop;
```

```
end;
```

## Příloha C

```
{ Strategy inputs }

Inputs: NS1 (32),
        NS2 (20),
        XS1 (6.0424),
        FirstEntryTm (1530),
        LastEntryTm (1830),
        NBarEnL1 (20),
        NBarEnL2 (67),
        NBarEnL3 (27),
        EntFrL (6.1975),
        MMrFrL (1.1622),
        TimeExL (1800),
        NBarEnS1 (86),
        TimeExS (2200),
        MMrFrS (7.8050),
        NATRTargS (4),
        TargFrS (4.3172),
        NBarExS (39),
        SL(1800);

{ Variables for average true range for entry and exit orders }
Var:  ATRTargS (0);

{ Variables for entry and exit prices }
Var:  EntPrL  (0),
        EntPrS  (0),
        TargPrS (0),
        LStop  (0),
        SStop  (0);

{ Variables for entry and exit conditions }
Var:  VarL1  (0),
        VarS1  (0),
        VarS2  (0),
        VarS3  (0),
        VarS4  (0),
        VarS5  (0),
        EntCondL (false),
        EntCondS (false),
        EndofSess (false),
        TimeOK  (false);

{ Average true range }
ATRTargS = AvgTrueRange(NATRTargS);

{ Entry prices }
```

```
EntPrL = TriAverage(L, NBarEnL1) + EntFrL * AbsValue(XAverage(C, NBarEnL2) - WAverage(H, NBarEnL3));
EntPrS = WAverage(L, NBarEnS1);
```

```
{ Entry and exit conditions }
```

```
VarL1 = OpenD(0);
```

```
VarS1 = TrueRange;
```

```
VarS2 = Highest(VarS1, NS1);
```

```
VarS3 = Average(VarS2, NS2);
```

```
VarS4 = TrueRange;
```

```
VarS5 = VarS4 * XS1;
```

```
EntCondL = VarL1 <= L;
```

```
EntCondS = VarS3 crosses above VarS5;
```

```
TimeOK = Time >= FirstEntryTm and Time < LastEntryTm;
```

```
EndofSess = false;
```

```
If DataCompression >= 1 and DataCompression <= 4 then
```

```
    EndofSess = Time = SessionEndTime(0, 1);
```

```
{ Entry orders }
```

```
If MarketPosition = 0 and (EntriesToday(Date) < 2 or EndofSess) and EntCondL and TimeOK then begin
```

```
    Buy("EnStop-L") 1 shares next bar at EntPrL stop;
```

```
end;
```

```
If MarketPosition = 0 and (EntriesToday(Date) < 2 or EndofSess) and EntCondS and TimeOK then begin
```

```
    Sell short("EnStop-S") 1 shares next bar at EntPrS stop;
```

```
end;
```

```
Setstoploss(SL);
```

```
{ Exit orders, long trades }
```

```
If MarketPosition > 0 then begin
```

```
    If BarsSinceEntry = 0 then begin
```

```
        LStop = EntryPrice - MMFrL * TrueRange;
```

```
    end;
```

```
    If Time >= TimeExL then
```

```
        Sell("ExTime-L") next bar at market;
```

```
        Sell("ExStop-L") next bar at LStop stop;
```

```
end;
```

```
{ Exit orders, short trades }
```

```
If MarketPosition < 0 then begin
```

```
    If BarsSinceEntry = 0 then begin
```

```
        SStop = EntryPrice + MMFrS * TrueRange;
```

```
    end;
```

If Time >= TimeExS then

Buy to cover("ExTime-S") next bar at market;

If BarsSinceEntry >= NBarExS then

Buy to cover("ExNBars-S") next bar at market;

Buy to cover("ExStop-S") next bar at SStop stop;

TargPrS = EntryPrice - TargFrS \* ATRTargS;

Buy to cover("ExTarg-S") next bar at TargPrS limit;

end;